

Synthèse de l'enquête

GDR MACS et IA : Cartographie des techniques utilisées, des domaines et objets de recherche concernés



Eric Bonjour <eric.bonjour@univ-lorraine.fr>

Laurent Geneste <laurent.geneste@enit.fr>

avec la contribution de

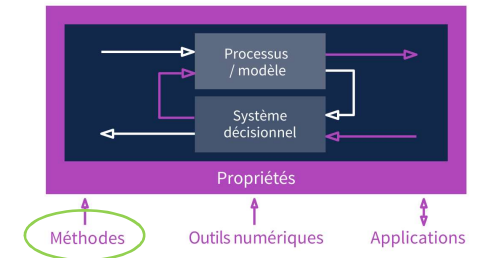
Damien Trentesaux <damien.trentesaux@uphf.fr>

Vincent Cheutet <vincent.cheutet@insa-lyon.fr>

Olivier Cardin <Olivier.Cardin@univ-nantes.fr>

Samir Lamouri <Samir.LAMOURI@ensam.eu>

Bernard Grabot <bernard.grabot@enit.fr>



Synthèse de l'enquête GDR MACS et IA : Cartographie des techniques, des domaines et objets de recherche concernés

Le Comité de Direction a mis en place un groupe de travail pour mener une enquête sur l'utilisation des techniques d'Intelligence Artificielle (IA) par les chercheurs du GDR MACS. Ce groupe, animé par Eric Bonjour et Laurent Geneste, était composé de Damien Trentesaux, Vincent Cheutet, Bernard Grabot, Samir Lamouri et Olivier Cardin. Les résultats de cette enquête ont été publiés sur le site du GDR MACS en janvier 2022.

Le groupe a élaboré une liste des domaines et une liste des objets de recherche étudiés. Il a distingué 4 grandes classes de techniques d'IA (Approches type Recherche Opérationnelle (RO) ; Approches modélisation des connaissances et raisonnement ; Approches données ; Transversal) dans lesquelles 20 techniques d'IA identifiées ont été classées. Il a ensuite construit un outil web pour supporter un questionnaire, qui a été diffusé aux membres du GDR MACS en juin 2022.

139 personnes ont répondu à cette enquête, en majorité des maîtres de conférences et professeurs (92). Les répondants avaient une activité de recherche de plus de 5 ans (117) mais ont une expérience en IA de moins de 5 ans (63) ou sont sans expérience (22).

Les domaines de recherche concernés sont bien représentatifs des domaines couverts par le GDR MACS avec pour moitié des répondants (73 /139), l'automatique (commande et pilotage, estimation et observation) et pour l'autre moitié, le génie industriel (ingénierie dirigée par les modèles, RO et aide à la décision, ingénierie des connaissances et sciences des données, maintenance, planification...).

Au niveau des objets de recherche, le groupe de travail a noté une prédominance de la "robotique, cobotique, mécatronique" et de la "conception" avec une forte présence de thèmes plus récents comme l' "IoT, systèmes cyber-physiques" ou les "Jumeaux numériques" ou de thèmes en lien avec des transitions sociétales majeures, comme les transports, l'énergie, le développement durable et la santé. .../...

Synthèse de l'enquête GDR MACS et IA : Cartographie des techniques, des domaines et objets de recherche concernés

En ce qui concerne l'utilisation des techniques d'IA, 3 niveaux ont été distingués : (utilisateur ; contributeur ; intéressé). Il ressort une prédominance de l' "apprentissage automatique (machine learning)" (57 ; 25 ; 38) et des "approches heuristiques" (28 ; 14 ; 14) avec un intérêt marqué pour les "Systèmes Multi-Agents" (9 ; 9 ; 20), et ce, de façon transversale aux domaines de recherche (en automatique et en génie industriel). Des contributions soutenues (>12) sur les "techniques à base de logique" et sur les "connaissances incertaines" ont été relevées. Un intérêt particulier (>15) ressort aussi sur l' "interaction humains- IA" et sur la "validation, explication, confiance" dans l'IA.

Environ 20% des répondants ont une contribution en "Apprentissage automatique", principalement des chercheurs confirmés (de plus de 10 ans d'expérience). Les contributions sont plutôt réparties en fonction de l'expérience en IA, avec une dominance pour les chercheurs ayant plus de 5 ans d'expérience en IA.

Ensuite, des clusters ont été recherchés sur les domaines à partir des réponses obtenues. Fort logiquement, les domaines "Commande, pilotage + Estimation, observation" (27 répondants), "Analyse des systèmes, simulation, vérification, preuve" (38) et "Identification" (41) ont montré leur proximité : on retrouve ici les domaines classiques de l'Automatique. De la même façon, les domaines " Ingénierie des connaissances et sciences des données", "Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles", "Systèmes d'information" et " Analyse des systèmes, simulation, vérification, preuve" ont montré leur proximité (23 répondants). A noter que le domaine "analyse des systèmes, simulation, vérification, preuve" est transversal à ces deux clusters. Un autre cluster relatif à l'utilisation des techniques de "RO et aide à la décision" en "Planification et Ordonnancement" a été identifié (10 répondants). Enfin, contrairement à ce que l'on aurait pu supposer, les domaines "diagnostic, détection de fautes" et "Maintenance, pronostic" n'ont pas fait apparaître de proximité forte (seulement 5 répondants).

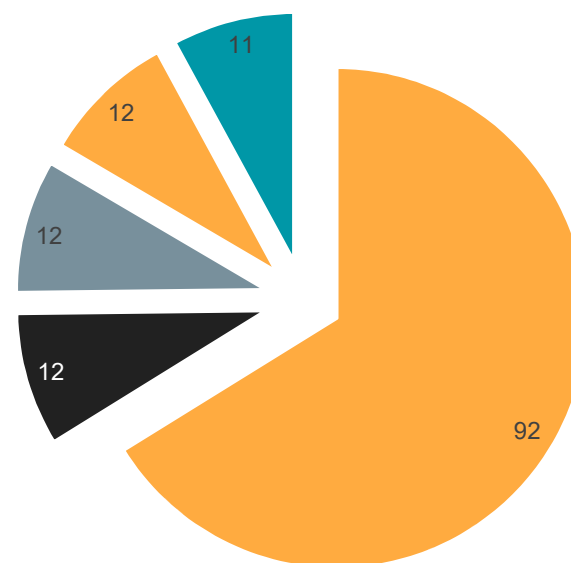
Etapes du travail

- Elaboration d'une liste de domaines et objets de recherche (tous)
- Elaboration d'une classification de techniques utilisées en IA (Eric, Laurent)
- Réalisation d'un questionnaire GoogleForm V1 (Eric, Laurent)
- Développement d'une application pour questionnaire V2 (Laurent, Eric R. de l'ENI Tarbes)
- Test du questionnaire au sein du Comité de Direction du GDR MACS et avec des chercheurs proches
- Amélioration du questionnaire V3 (Laurent, Eric, Eric R. de l'ENI Tarbes)
- Diffusion de l'enquête dans le GDR MACS
- Analyse des résultats (Eric, Laurent)
- Rédaction de la présente synthèse (Eric, Laurent)

Profils des 139 répondants

MdC/Professeur	92
CR / DR CNRS	12
Doctorant	12
Ingénieur recherche - Post Doc	12
Autres	11
Total	139

Statuts

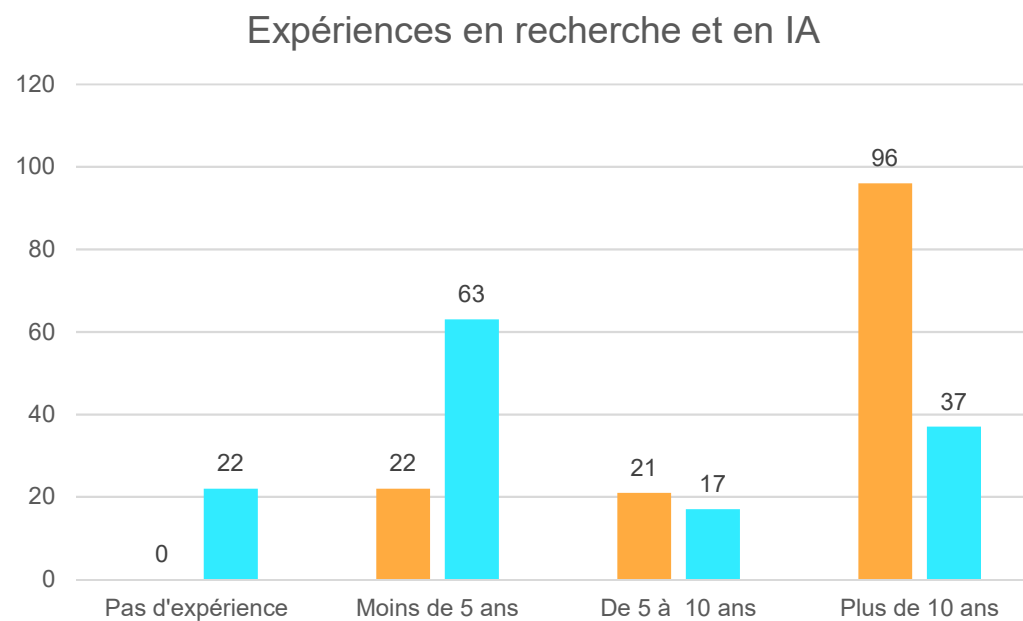


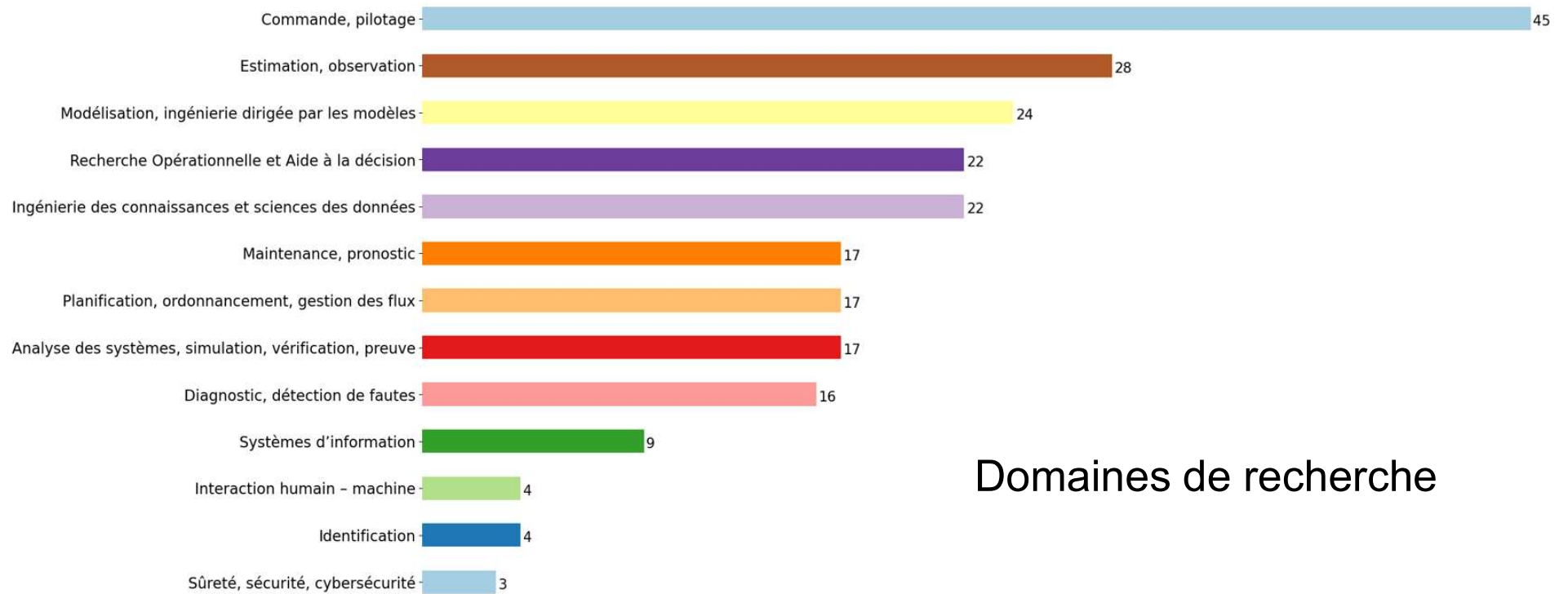
■ MdC/Professeur ■ CR / DR CNRS ■ Doctorant ■ Ingénieur recherche - Post Doc ■ Autres

Expériences des répondants

	En recherche	En IA
Pas d'expérience	0	22
Moins de 5 ans	22	63
De 5 à 10 ans	21	17
Plus de 10 ans	96	37
	139	139

*Des chercheurs confirmés
avec une expérience récente en IA*

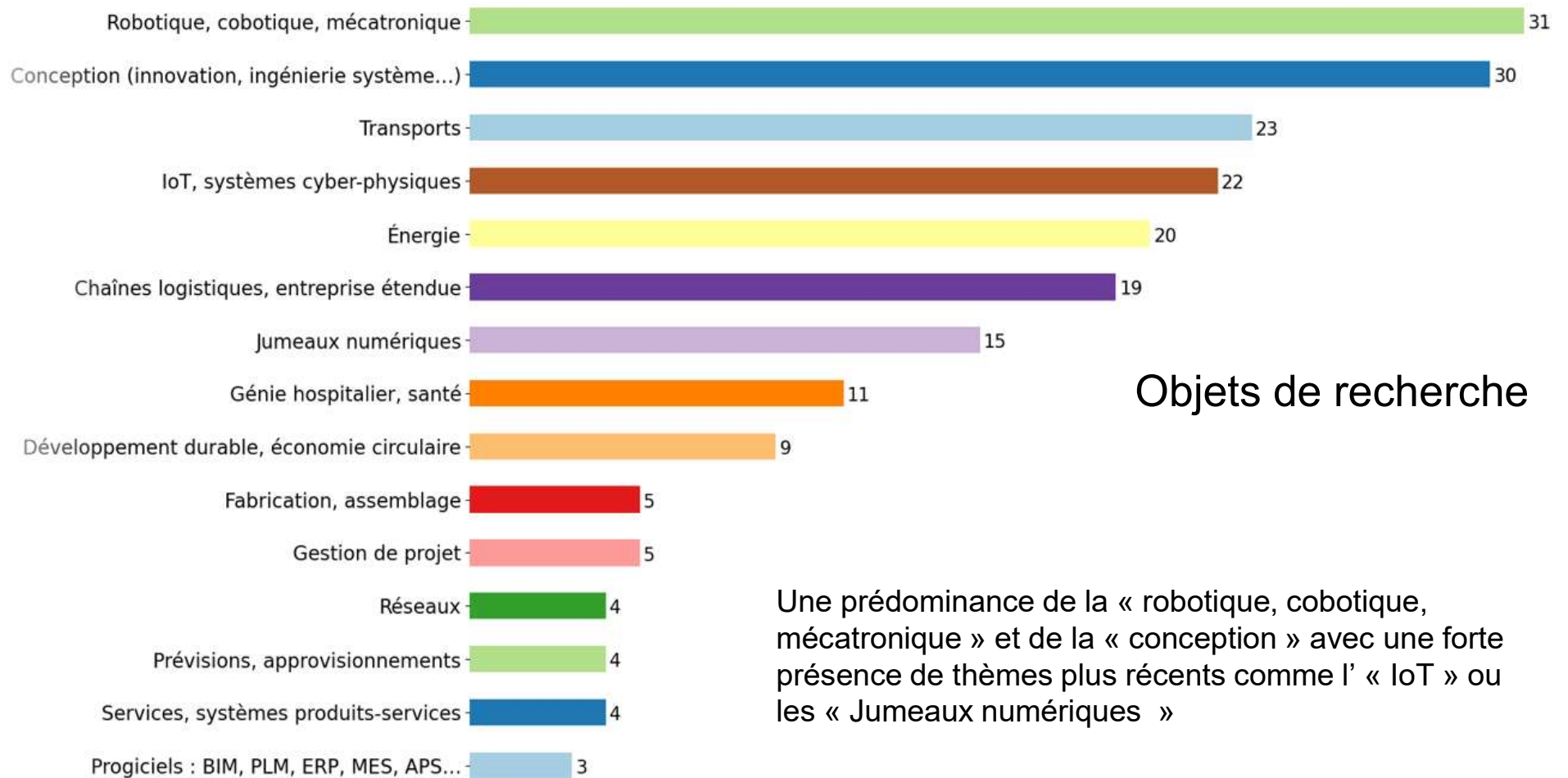




Domaines de recherche

Une bonne représentation des domaines de recherche couverts par le GDR MACS

Synthèse de l'enquête GDR MACS et IA - 2022



Objets de recherche

Une prédominance de la « robotique, cobotique, mécatronique » et de la « conception » avec une forte présence de thèmes plus récents comme l' « IoT » ou les « Jumeaux numériques »

Niveaux d'utilisation et intérêts pour les techniques identifiées

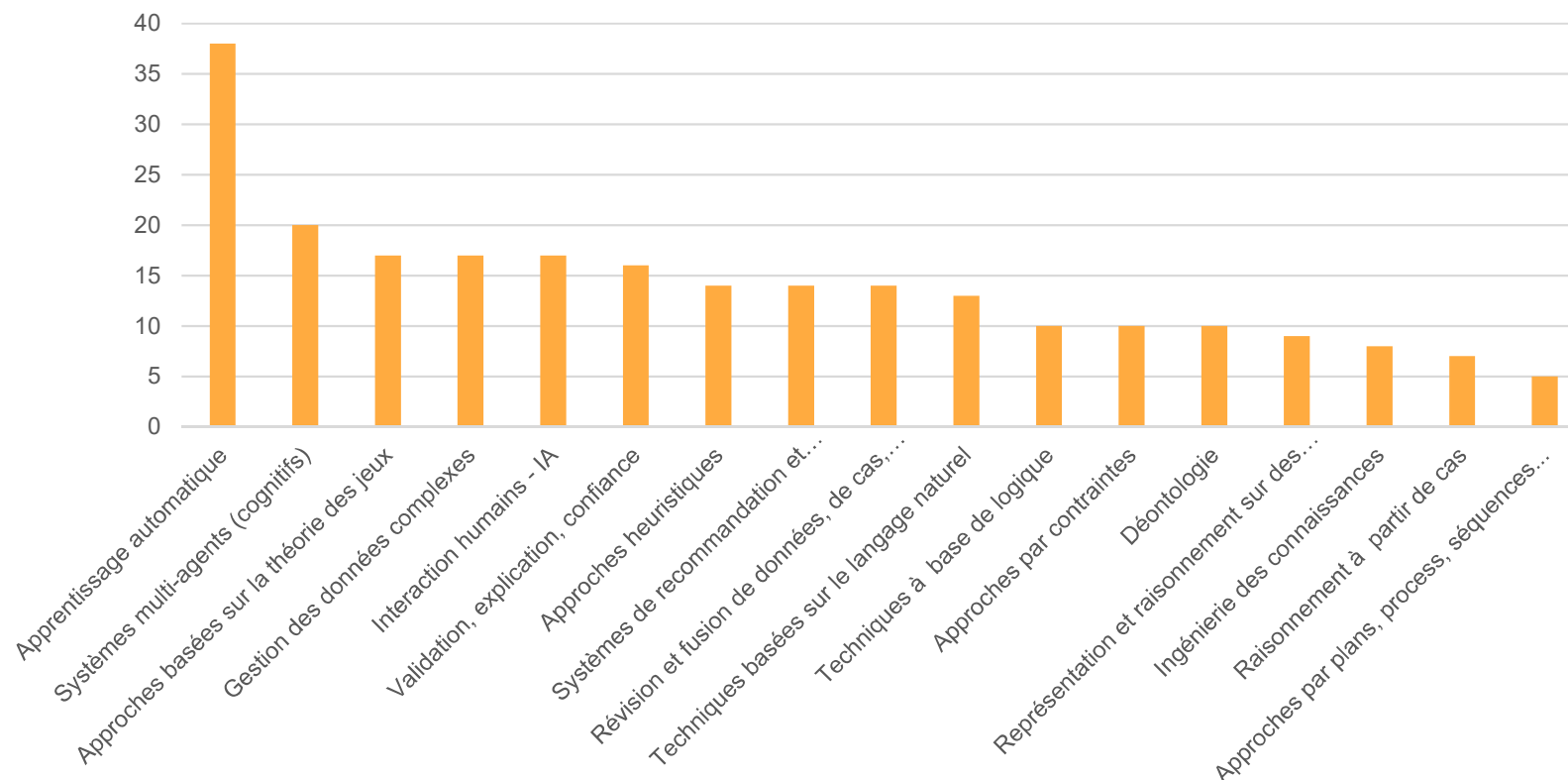
Cf graphique transparent suivant

	Utilisateur	Contributeur	Intéressé
Apprentissage automatique (Machine Learning)	57	25	38
Systemes Multi-Agents (cognitifs)	9	9	20
Approches basées sur la théorie des jeux	10	2	17
Gestion des données complexes	10	4	17
Interaction humains - IA	2	5	17
Validation, explication, confiance	6	5	16
Approches heuristiques	28	14	14
Systemes de recommandation et personnalisation	5	7	14
Révision et fusion de données, de cas, d'ontologies	6	8	14
Techniques basées sur le langage naturel	6	7	13
Techniques à base de logique	6	12	10
Approches par contraintes	8	6	10
Déontologie	2	1	10
Représentation et raisonnement sur des connaissances incertaines	10	14	9
Ingénierie des connaissances	4	8	8
Raisonnement à partir de cas	6	8	7
Approches par plans, process, séquences...	3	5	5
	178	140	239

Une prédominance de l' « apprentissage automatique » et des « approches heuristiques » avec un intérêt marqué pour les SMA. A noter des contributions soutenues (>10) sur des « techniques à base de logique » et « connaissances incertaines ».

Zoom sur « l'intérêt de monter en compétences »

Intérêt pour monter en compétences



Ce graphique fournit des pistes intéressantes sur les compétences que les chercheurs souhaitent développer et ainsi, sur d'éventuelles actions du GDR MACS qui pourraient être pertinentes.

Plus en détail :
 Expérience **en recherche** ou **en IA** des répondants
 vs **utilisation** du Machine Learning (Use-ML)

(rappel)	En recherche	En IA
Pas d'expérience	0	22
Moins de 5 ans	22	63
De 5 à 10 ans	21	17
Plus de 10 ans	96	37
	139	139

Effectif	Use-ML	Exp. Recherche			Total	
		< 5 ans	De 5 à 10 ans	> 10 ans		
	0	13	16	53	82	
	1	9	5	43		
	Total	22	21	96		
Use-ML = 0 signifie : aucune utilisation du ML					57	(57/139 = 41% des répondants utilisent du ML)
					139	
Des chercheurs confirmés...		9/22 = 41%	5/21=24%	43/96=44%		

Effectif	Use-ML	Exp. en IA			Total	
		< 5 ans	De 5 à 10 ans	> 10 ans		
	0	31	11	23	17	82
	1	32	6	14	5 (utilisation occasionnelle)	57
	Total	63	17	37	22	139

avec une expérience récente du ML

Plus en détail :

Expérience **en recherche** ou **en IA** des répondants vs **contribution en** Machine Learning (Contrib-ML)

Contrib-ML = 0 signifie : aucune contribution en ML

Tableau croisé Expérience en Recherche * Contrib-ML					
Effectif					
		Expérience en Recherche			
		< 5 ans	De 5 à 10 ans	> 10 ans	Total
Contrib-ML	0	19	19	76	114
	1	3	2	20	25
Total		22	21	96	139 (25/139 = 18%)

18% des répondants ont une contribution en ML, principalement des chercheurs confirmés

Tableau croisé Expérience en IA * Contrib-ML						
Effectif						
		Expérience en IA				
		< 5 ans	De 5 à 10 ans	> 10 ans	Pas d'expérience	Total
Contrib-ML	0	53	11	29	21	114
	1	10	6	8	1 (occasionnel)	25
Total		63	17	37	22	139
		10/63=16%	6/17=35%	8/37=22%		

Les contributions sont plutôt réparties en fonction de l'expérience en IA, avec une dominance pour les chercheurs ayant plus de 5 ans d'expérience.

Domaines vs ancienneté en ML des répondants

Tableau croisé **Domaine Principal** * Anc. util-ML

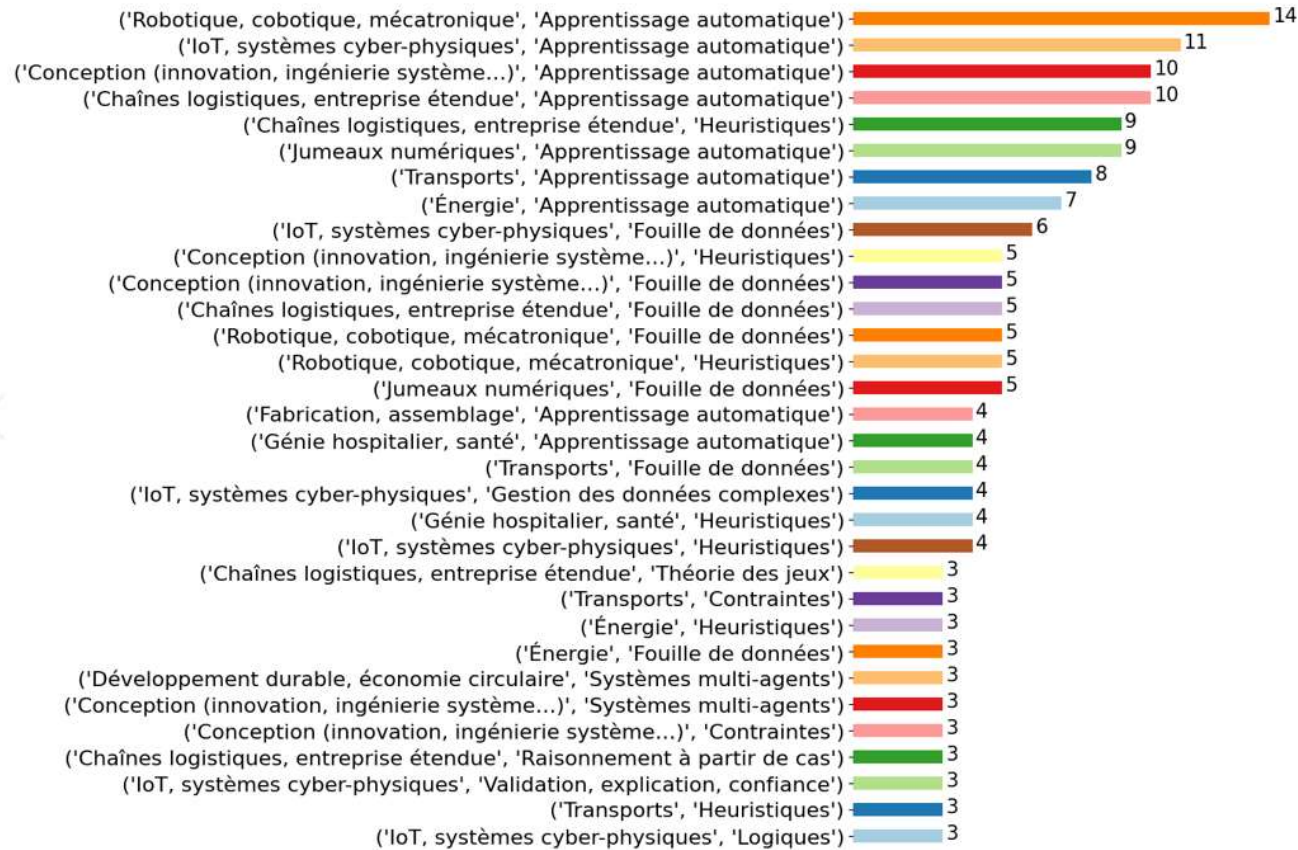
Effectif		Anc. util-ML				Total
		0 an	< 5 ans	> 10 ans	De 5 à 10 ans	
Domaine Principal	Aide à la décision, Gestion des opérations, Systèmes d'information d'entreprise, évaluation de performances	1	0	0	0	1
	Allocation de ressources dans les réseaux	1	0	0	0	1
	Analyse des systèmes, simulation, observation,	1	0	0	0	1
	Analyse des systèmes, simulation, vérification, preuve	6	3	0	1	10
	Apprentissage machine automatique	0	1	0	0	1
	Autonomie	2	0	0	0	2
	Autonomie	1	0	0	0	1
	Commande, pilotage	21	10	2	2	35
	Diagnostic, détection de fautes	3	3	1	0	7
	EIAH	1	0	0	0	1
	Environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH)	1	0	0	0	1
	Estimation, observation	8	2	1	0	11
	Guidage, Navigation et Control des munitions guidées	1	0	0	0	1
	Ingénierie des connaissances et sciences des données	9	5	0	0	14
	Ingénierie des formes	0	1	0	0	1
	Ingénierie des systèmes de soins	0	1	0	0	1
	Interaction humain - machine	3	0	0	0	3
	Maintenance, pronostic	2	5	0	1	8
	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	6	2	0	0	8
	Optimisation, HPC, IA	1	0	0	0	1
	Planification, ordonnancement, gestion des flux	7	2	0	1	10
	Recherche Opérationnelle et Aide à la décision	7	4	0	0	11
	Sûreté, sécurité, cybersécurité	1	0	0	0	1
	Science de la mesure	0	0	0	1	1
	Supply Chain Management et réseaux industriels	1	0	0	0	1
	Systèmes d'information	3	0	0	2	5
	Traitement de l'image	1	0	0	0	1
	Total	88	39	4	8	139

Domaines de recherche vs Techniques



On retrouve ici la prédominance des techniques d'apprentissage automatique puis des approches heuristiques. Cette analyse permet de faire ressortir les domaines concernés par ordre de fréquence. En tête, des domaines : l'automatique (Commande, pilotage et Estimation, observation) ainsi que Maintenance, pronostic.

Objets de recherche vs Techniques



On retrouve ici la prédominance des techniques d'apprentissage automatique et de fouille de données. Une association est à noter entre approches heuristiques et (chaînes logistiques, conception et robotique).

Clusters sur les domaines

L'analyse des réponses montre des proximités entre des domaines que l'on peut regrouper dans un cluster ou une communauté.

Cluster 1

Commande, pilotage + Estimation, observation (27 répondants)

+ Analyse des systèmes, simulation, vérification, preuve (38) + Identification (41)

On retrouve ici les domaines classiques de l'Automatique

+ Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles (48)

ou

+ Diagnostic, détection de fautes (47)

automatique	Analyse des systèmes, simulation, \	Systèmes nD	
Commande, pilotage	Analyse des systèmes, simulation, \	énergie	Transports
Commande, pilotage	Analyse des systèmes, simulation, \	Chaînes logistiques, entreprise	Développem
Commande, pilotage	Analyse des systèmes, simulation, \	énergie	
Commande, pilotage	Analyse des systèmes, simulation, \	Robotique, cobotique, mécatro	énergie
Modélisation, ingénierie dirigée par les	Analyse des systèmes, simulation, \	Développement durable, éconoc	Conception (
Planification, ordonnancement, gestion	Analyse des systèmes, simulation, \	Aide à la conception et au pilo	Modélisati
Analyse des systèmes, simulation, vérif	Commande, pilotage	Transports	Robotique, c
Analyse des systèmes, simulation, vérif	Commande, pilotage	Conception (innovation, ingénierie systèm	éa
Analyse des systèmes, simulation, vérif	Commande, pilotage	Génie hospitalier, santé	Robotique, c
Estimation, observation	Commande, pilotage		
Estimation, observation	Commande, pilotage	Robotique, cobotique, mécatro	IoT, systèm
Estimation, observation	Commande, pilotage	IoT, systèmes cyber-physiques	Robotique, c
Estimation, observation	Commande, pilotage	Environnement	énergie
Estimation, observation	Commande, pilotage	Robotique, cobotique, mécatronique	
Ingénierie des connaissances et science	Commande, pilotage	Chaînes logistiques, entreprise	Génie hospit
Maintenance, pronostic	Commande, pilotage	Conception (innovation, ingénii	Robotique, c
Commande, pilotage	Diagnostic, détection de fautes	Robotique, cobotique, mécatro	Transports
Commande, pilotage	Diagnostic, détection de fautes	Transports	Génie hospit
Commande, pilotage	Diagnostic, détection de fautes	Conception (innovation, ingénierie systèm	éa
Commande, pilotage	Diagnostic, détection de fautes	Transports	énergie

Cluster 2

Modélisation, ingénierie dirigée par les	Ingénierie des connaissances et sci	Progiciels : BIM, PLM, ERP, MES, APS	> :
Modélisation, ingénierie dirigée par les	Ingénierie des connaissances et sci	Conception (innovation, ingénierie IoT, système De	
Modélisation, ingénierie dirigée par les	Ingénierie des connaissances et sci	Conception (innovation, ingénierie Jumeaux nur > :	
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Ingénierie des connaissances et sci	Génie hospitalier, santé Robotique, c > :	
Systèmes d'information	Ingénierie des connaissances et sci	Progiciels : BIM, PLM, ERP, MES Chaînes logis > :	
Systèmes d'information	Ingénierie des connaissances et sci	Conception (innovation, ingénierie énergie De	
Systèmes d'information	Ingénierie des connaissances et sci	Chaînes logistiques, entreprise Progiciels : BI > :	
Traitement de l'image	Ingénierie des connaissances et sci	Vision (reconnaissance, tri, fusi Jumeaux nur > :	

Ingénierie des connaissances et sciences des données

+ Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles

+ Systèmes d'information

→ 16 répondants

+ Analyse des systèmes, simulation, vérification, preuve

→ 23 répondants

Analyse des systèmes, simulation, vérif	Modélisation, ingénierie dirigée pa	C
Analyse des systèmes, simulation, vérif	Modélisation, ingénierie dirigée pa	C
Analyse des systèmes, simulation, vérif	Modélisation, ingénierie dirigée pa	J
Commande, pilotage	Modélisation, ingénierie dirigée pa	é
Commande, pilotage	Modélisation, ingénierie dirigée par	I
Ingénierie des connaissances et science	Modélisation, ingénierie dirigée pa	C
Ingénierie des connaissances et science	Modélisation, ingénierie dirigée pa	C
Ingénierie des connaissances et science	Modélisation, ingénierie dirigée pa	I
Ingénierie des connaissances et science	Modélisation, ingénierie dirigée pa	I
Interaction humain - machine	Modélisation, ingénierie dirigée pa	T
Maintenance, pronostic	Modélisation, ingénierie dirigée pa	J
Planification, ordonnancement, gestion	Modélisation, ingénierie dirigée pa	C
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Modélisation, ingénierie dirigée pa	C
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Modélisation, ingénierie dirigée pa	C
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Modélisation, ingénierie dirigée pa	R
Systèmes d'information	Modélisation, ingénierie dirigée pa	I
Apprentissage machine	Optimisation multi-objectifs	G

Cluster 3

Recherche Opérationnelle et Aide à la décision

+ Planification, Ordonnancement..

→ 10 répondants

De plus petite taille, ce cluster correspond

à une proximité connue :

utilisation de RO en Planification et Ordo

Optimisation, HPC, IA		T
Planification, ordonnancement, gestion	Analyse des systèmes, simulation, vérification, pr	A
Planification, ordonnancement, gestion	Diagnostic, détection de fautes	R
Planification, ordonnancement, gestion	Interaction humain - machine	C
Planification, ordonnancement, gestion	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	G
Planification, ordonnancement, gestion	Recherche Opérationnelle et Aide à la décision	C
Planification, ordonnancement, gestion	Recherche Opérationnelle et Aide à la décision	C
Planification, ordonnancement, gestion	Recherche Opérationnelle et Aide à la décision	C
Planification, ordonnancement, gestion	Recherche Opérationnelle et Aide à la décision	C
Planification, ordonnancement, gestion	Traitement d'images	P
Planification, ordonnancement, gestion	des flux	C
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Ingénierie des connaissances et sciences des don	G
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Maintenance, pronostic	S
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Maintenance, pronostic	C
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	C
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	C
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	R
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Planification, ordonnancement, gestion des flux	R
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Planification, ordonnancement, gestion des flux	C
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Planification, ordonnancement, gestion des flux	D
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Planification, ordonnancement, gestion des flux	T
Recherche Opérationnelle et Aide à la	décision	
Sûreté, sécurité, cybersécurité	Maintenance, pronostic	S

Cluster ?

Diagnostic, détection de fautes

Maintenance, pronostic

→ 5 répondants : contrairement à ce que l'on aurait pu penser,
il ne ressort pas de proximité forte entre ces deux domaines

Commande, pilotage	Diagnostic, détection de fautes	R
Commande, pilotage	Diagnostic, détection de fautes	Ti
Commande, pilotage	Diagnostic, détection de fautes	C
Commande, pilotage	Diagnostic, détection de fautes	Ti
EIAH	Diagnostic, détection de fautes	D
Maintenance, pronostic	Diagnostic, détection de fautes	C
Maintenance, pronostic	Diagnostic, détection de fautes	Fa
Planification, ordonnancement, gestion	Diagnostic, détection de fautes	R
Environnements informatiques pour l'a	Diagnostic, détection de fautes, Identification	p
Analyse des systèmes, simulation, vérif	Estimation, observation	G

Cluster 4 ... sur les objets de recherche vs domaines

Robotique, proche de IoT

vs (« commande, pilotage » et « estimation, observation »)

➔ 17 répondants

Analyse des systèmes, simulation, observation	systèmes hybrides	Robotique, cobotique, mécatronique	génie électrique	>
Autonomie		Robotique, cobotique, mécatronique		>
Commande, pilotage	Analyse des systèmes, simulation, vérification, pr	Robotique, cobotique, mécatronique	énergie	>
Commande, pilotage	Diagnostic, détection de fautes	Robotique, cobotique, mécatronique	Transports	<
Commande, pilotage	Estimation, observation	Robotique, cobotique, mécatronique		>
Commande, pilotage	Estimation, observation	Robotique, cobotique, mécatronique		>
Commande, pilotage	Estimation, observation	Robotique, cobotique, mécatronique	IoT, systèmes cyber-physiques	Di
Commande, pilotage	Estimation, observation	Robotique, cobotique, mécatronique		>
Commande, pilotage	Estimation, observation	Robotique, cobotique, mécatronique	Vision (reconnaissance, tri, fusio	Di
Commande, pilotage	Estimation, observation	Robotique, cobotique, mécatronique		<
Commande, pilotage	Maintenance, pronostic	Robotique, cobotique, mécatronique		<
Commande, pilotage	Robotique	Robotique, cobotique, mécatronique	IoT, systèmes cyber-physiques	>
Commande, pilotage		Robotique, cobotique, mécatronique		>
Diagnostic, détection de fautes	Estimation, observation	Robotique, cobotique, mécatronique	Jumeaux numériques	>
Estimation, observation	Commande, pilotage	Robotique, cobotique, mécatronique	IoT, systèmes cyber-physiques	Di
Estimation, observation	Commande, pilotage	Robotique, cobotique, mécatronique		>
Estimation, observation		Robotique, cobotique, mécatronique	Transports	>
Estimation, observation		Robotique, cobotique, mécatronique		<
Guidage, Navigation et Control des mur	Estimation, observation	Robotique, cobotique, mécatronique	Conception (innovation, ingénie	>
Interaction humain - machine		Robotique, cobotique, mécatronique		>
Planification, ordonnancement, gestion	Diagnostic, détection de fautes	Robotique, cobotique, mécatronique		>
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Planification, ordonnancement, gestion des flux	Robotique, cobotique, mécatronique		>
Intégration des systèmes de coo		Robotique, cobotique, mécatronique		<

Cluster 5... sur les objets de recherche vs domaines

IoT, proche de **jumeaux numériques**

soit commande, pilotage

soit Système d'information ou /et Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles

➔ 15 répondants

Supply Chain Management et réseaux	Intelligence artificielle, Big Data, Data Science	Intelligence artificielle et Data Science	Systèmes multi agents
Analyse des systèmes, simulation, vérification, preuve		IoT, systèmes cyber-physiques	Conception (innovation, ingénierie)
Commande, pilotage	Estimation, observation	IoT, systèmes cyber-physiques	
Commande, pilotage	Systèmes d'information	IoT, systèmes cyber-physiques	
Commande, pilotage		IoT, systèmes cyber-physiques	Robotique, cobotique, mécatronique
Estimation, observation	Commande, pilotage	IoT, systèmes cyber-physiques	Robotique, cobotique, mécatronique
Estimation, observation	Sécurité, sécurité, cybersécurité	IoT, systèmes cyber-physiques	Robotique, cobotique, mécatronique
Ingénierie des connaissances et science	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	IoT, systèmes cyber-physiques	Jumeaux numériques
Ingénierie des connaissances et science	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	IoT, systèmes cyber-physiques	IoT, systèmes cyber-physiques
Ingénierie des connaissances et science	Systèmes d'information	IoT, systèmes cyber-physiques	Jumeaux numériques
Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	Planification, ordonnancement, gestion des flux	IoT, systèmes cyber-physiques	
Science de la mesure	Traitement de l'information	IoT, systèmes cyber-physiques	Aide à la décision
Systèmes d'information	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	IoT, systèmes cyber-physiques	Jumeaux numériques
Systèmes d'information	Planification, ordonnancement, gestion des flux	IoT, systèmes cyber-physiques	
Analyse des systèmes, simulation, vérification, preuve	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	Jumeaux numériques	IoT, systèmes cyber-physiques
Maintenance, pronostic	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	Jumeaux numériques	IoT, systèmes cyber-physiques

Cluster 6... sur les objets de recherche vs domaines

Conception (innovation, ingénierie système...) (proche de gestion de projet et Jumeaux numériques)

Ingénierie des connaissances et sciences des données

ou /et Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles

+ Recherche Opérationnelle et Aide à la décision

➔ 14 répondants

automatique	acoustique	Commande en temps réel de systèmes hybrides et outils instrumentés de
Analyse des systèmes, simulation, vérif	Commande, pilotage	Conception (innovation, ingénierie systèmeâ€¦)
Analyse des systèmes, simulation, vérif	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	Conception (innovation, ingénierie système Jumeaux numériques
Analyse des systèmes, simulation, vérif	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	Conception (innovation, ingénierie système Développement durable, écono
Commande, pilotage	Diagnostic, détection de fautes	Conception (innovation, ingénierie systèmeâ€¦)
Estimation, observation	Identification	Conception (innovation, ingénierie systèmeâ€¦)
Ingénierie des connaissances et science	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	Conception (innovation, ingénierie système Gestion de projet
Ingénierie des connaissances et science	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	Conception (innovation, ingénierie systèmeâ€¦)
Ingénierie des connaissances et science	Recherche Opérationnelle et Aide à la décision	Conception (innovation, ingénierie système énergie
Ingénierie des connaissances et science	Recherche Opérationnelle et Aide à la décision	Conception (innovation, ingénierie système Chaînes logistiques, entreprise
Ingénierie des connaissances et science	Systèmes d'information	Conception (innovation, ingénierie système Gestion de projet
Ingénierie des formes	Métriologie dimensionnelle	Conception (innovation, ingénierie système Jumeaux numériques
Interaction humain - machine	Recherche Opérationnelle et Aide à la décision	Conception (innovation, ingénierie système Gestion de projet
Maintenance, pronostic	Commande, pilotage	Conception (innovation, ingénierie système Robotique, cobotique, mécatro
Maintenance, pronostic	Diagnostic, détection de fautes	Conception (innovation, ingénierie systèmeâ€¦)
Maintenance, pronostic	Recherche Opérationnelle et Aide à la décision	Conception (innovation, ingénierie systèmeâ€¦)
Modélisation, ingénierie dirigée par les	Ingénierie des connaissances et sciences des don	Conception (innovation, ingénierie système IoT, systèmes cyber-physiques
Modélisation, ingénierie dirigée par les	Ingénierie des connaissances et sciences des don	Conception (innovation, ingénierie système Jumeaux numériques
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	Conception (innovation, ingénierie système Développement durable, écono
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles	Conception (innovation, ingénierie système Génie hospitalier, santé
Systèmes d'information	Ingénierie des connaissances et sciences des don	Conception (innovation, ingénierie système énergie
EIAH	Diagnostic, détection de fautes	Dashboard, divers

Cluster 7... sur les objets de recherche vs domaines

Chaînes logistiques, entreprise étendue

Planification, ordonnancement, gestion des flux

Recherche Opérationnelle et Aide à la décision

→ 10 répondants

Planification, ordonnancement, gestion	Analyse des systèmes, simulation, vérification, pr	Aide à la conception et au pilotage des sy	Modélisation simulation des systèmes ed prc	> 10 a
Commande, pilotage	Analyse des systèmes, simulation, vérification, pr	Chaînes logistiques, entreprise étendue	Développement durable, économie circulaire	> 10 a
Ingénierie des connaissances et science	Aide à la décision et système d'information	Chaînes logistiques, entreprise étendue	Conception (innovation, ingénierie système	De 5 à
Ingénierie des connaissances et science	Commande, pilotage	Chaînes logistiques, entreprise étendue	Génie hospitalier, santé	< 5 an
Modélisation, ingénierie dirigée par les	modèles	Chaînes logistiques, entreprise étendue		> 10 a
Planification, ordonnancement, gestion	Interaction humain - machine	Chaînes logistiques, entreprise étendue	Transports	> 10 a
Planification, ordonnancement, gestion	Recherche Opérationnelle et Aide à la décision	Chaînes logistiques, entreprise étendue	Développement durable, économie circulaire	> 10 a
Planification, ordonnancement, gestion	Recherche Opérationnelle et Aide à la décision	Chaînes logistiques, entreprise étendue	Développement durable, économie circulaire	> 10 a
Planification, ordonnancement, gestion	Recherche Opérationnelle et Aide à la décision	Chaînes logistiques, entreprise étendue		De 5 à
Planification, ordonnancement, gestion	Recherche Opérationnelle et Aide à la décision	Chaînes logistiques, entreprise étendue	Jumeaux numériques	> 10 a
Planification, ordonnancement, gestion	des flux	Chaînes logistiques, entreprise étendue	Chaînes logistiques, entreprise étendue	De 5 à
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Maintenance, pronostic	Chaînes logistiques, entreprise étendue		< 5 an
Recherche Opérationnelle et Aide à la	Planification, ordonnancement, gestion des flux	Chaînes logistiques, entreprise étendue	Prévisions, approvisionnements	> 10 a
Systèmes d'information	Ingénierie des connaissances et sciences des don	Chaînes logistiques, entreprise étendue	Progiciels : BIM, PLM, ERP, MES, APS	> 10 a
Aide à la décision, Gestion des opérations	(Planification, ordonnancement, gestion des f	Chaînes logistiques, systèmes de producti	Développement durable, ERP	> 10 a

Domaines et techniques utilisées

Commande, pilotage (sous forme de tableau)

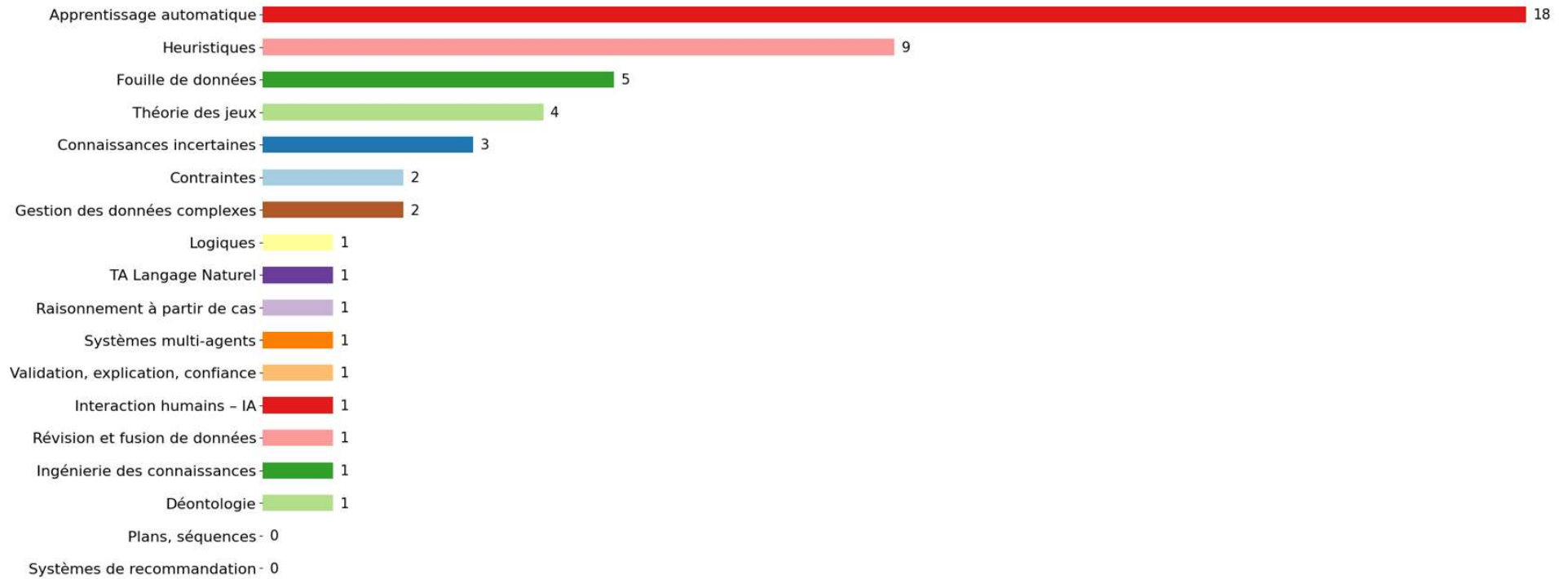
NB : Nous donnons les résultats sous forme de tableau (avec le cumul) , puis sous forme de graphique sur le transparent suivant (c'est plus visuel)

	Effectif	Effectif cumulé	Cumul %
9 - Apprentissage automatique (de type : supervisé, non supervisé, mixte, par renforcement)	18	18	0,35
0 - Approches heuristiques	9	27	0,52
10 - Fouille de données (syn. x mining), classification, extraction de connaissances à partir des données	5	32	0,62
1 - Approches basées sur la théorie des jeux	4	36	0,69
7 - Représentation et raisonnement sur des connaissances incertaines	3	39	0,75
3 - Approches par contraintes	2	41	0,79
12 - Gestion des données complexes (ex: réseaux sociaux, graphes, ...)	2	43	0,83
5 - Techniques basées sur le langage naturel	1	44	0,85
8 - Systèmes multi-agents (cognitifs)	1	45	0,87
13 - Validation, explication, confiance	1	46	0,88
17 - Déontologie	1	47	0,90
15 - Révision et fusion de données, de cas, d'ontologies	1	48	0,92
16 - Ingénierie des connaissances	1	49	0,94
2 - Techniques à base de logique	1	50	0,96
6 - Raisonnement à partir de cas	1	51	0,98
14 - Interaction humains – IA	1	52	1,00

Lecture : Parmi les **52** répondants ayant mis « Commande, pilotage » comme domaine principal ou secondaire, **18** utilisent la technique « 9 -Apprentissage automatique ».

Domaines et techniques utilisés

Commande, pilotage (sous forme de graphique)



Domaines et techniques utilisées

Ingénierie des connaissances et sciences des données

(sous forme de tableau)

9 - Apprentissage automatique (de type : supervisé, non supervisé, mixte, ...)	9	9	0,22
0 - Approches heuristiques	6	15	0,37
1 - Approches basées sur la théorie des jeux	3	18	0,44
12 - Gestion des données complexes (ex: réseaux sociaux, graphes,...)	3	21	0,51
3 - Approches par contraintes	3	24	0,59
10 - Fouille de données (syn. x mining), classification, extraction de connaissances à partir des données	3	27	0,66
11 - Systèmes de recommandation et personnalisation	3	30	0,73
5 - Techniques basées sur le langage naturel	2	32	0,78
7 - Représentation et raisonnement sur des connaissances incertaines	2	34	0,83
8 - Systèmes multi-agents (cognitifs)	2	36	0,88
6 - Raisonnement à partir de cas	2	38	0,93
15 - Révision et fusion de données, de cas, d'ontologies	1	39	0,95
2 - Techniques à base de logique	1	40	0,98
4 - Approches par plans, process, séquences...	1	41	1,00

Lecture : Parmi les 41 répondants ayant mis « Ingénierie des connaissances et sciences des données » comme domaine principal ou secondaire, 9 utilisent la technique « 9 -Apprentissage automatique ».

Domaines et techniques utilisées

Ingénierie des connaissances et sciences des données (sous forme de graphique)



Domaines et techniques utilisées

Recherche Opérationnelle et Aide à la décision

(sous forme de tableau)

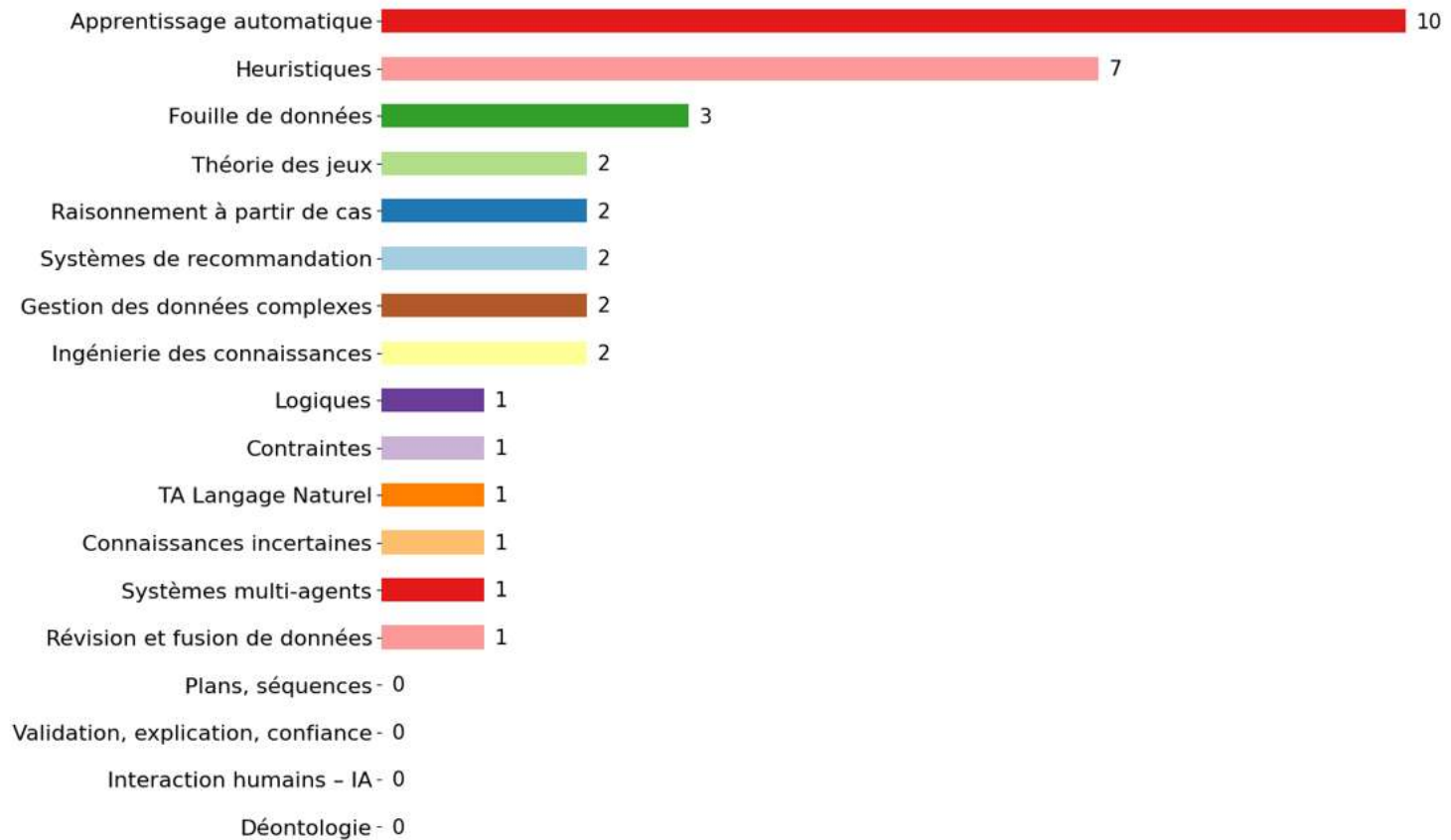
9 - Apprentissage automatique (de type : supervisé, non supervisé, ...)	10	10	0,28
0 - Approches heuristiques	7	17	0,47
10 - Fouille de données (syn. x mining), classification, extraction de connaissances à partir des données	3	20	0,56
1 - Approches basées sur la théorie des jeux	2	22	0,61
11 - Systèmes de recommandation et personnalisation	2	24	0,67
12 - Gestion des données complexes (ex: réseaux sociaux, graphes, ...)	2	26	0,72
6 - Raisonnement à partir de cas	2	28	0,78
16 - Ingénierie des connaissances	2	30	0,83
3 - Approches par contraintes	1	31	0,86
7 - Représentation et raisonnement sur des connaissances incertaines	1	32	0,89
8 - Systèmes multi-agents (cognitifs)	1	33	0,92
15 - Révision et fusion de données, de cas, d'ontologies	1	34	0,94
2 - Techniques à base de logique	1	35	0,97
5 - Techniques basées sur le langage naturel	1	36	1,00

Lecture : Parmi les 36 répondants ayant mis « Recherche Opérationnelle et Aide à la décision » comme domaine principal ou secondaire, 10 utilisent la technique « 9 -Apprentissage automatique ».

Domaines et techniques utilisées

Recherche Opérationnelle et Aide à la décision

(sous forme de graphique)



Domaines et techniques utilisées

Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles (sous forme de tableau)

9 - Apprentissage automatique (de type : supervisé, non supervisé, ...)	8	8	0,24
10 - Fouille de données (syn. x mining), classification, extraction de connaissances à partir des données	5	13	0,39
0 - Approches heuristiques	3	16	0,48
12 - Gestion des données complexes (ex: réseaux sociaux, graphes,...)	3	19	0,58
11 - Systèmes de recommandation et personnalisation	2	21	0,64
4 - Approches par plans, process, séquences...	2	23	0,70
6 - Raisonnement à partir de cas	2	25	0,76
7 - Représentation et raisonnement sur des connaissances incertaines	2	27	0,82
16 - Ingénierie des connaissances	1	28	0,85
1 - Approches basées sur la théorie des jeux	1	29	0,88
8 - Systèmes multi-agents (cognitifs)	1	30	0,91
13 - Validation, explication, confiance	1	31	0,94
2 - Techniques à base de logique	1	32	0,97
3 - Approches par contraintes	1	33	1,00

Lecture : Parmi les **33** répondants ayant mis « Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles » comme domaine principal ou secondaire, **8** utilisent la technique « 9 -Apprentissage automatique ».

Domaines et techniques utilisées

Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles (sous forme de graphique)



Domaines et techniques utilisées

Estimation, observation

(sous forme de tableau)

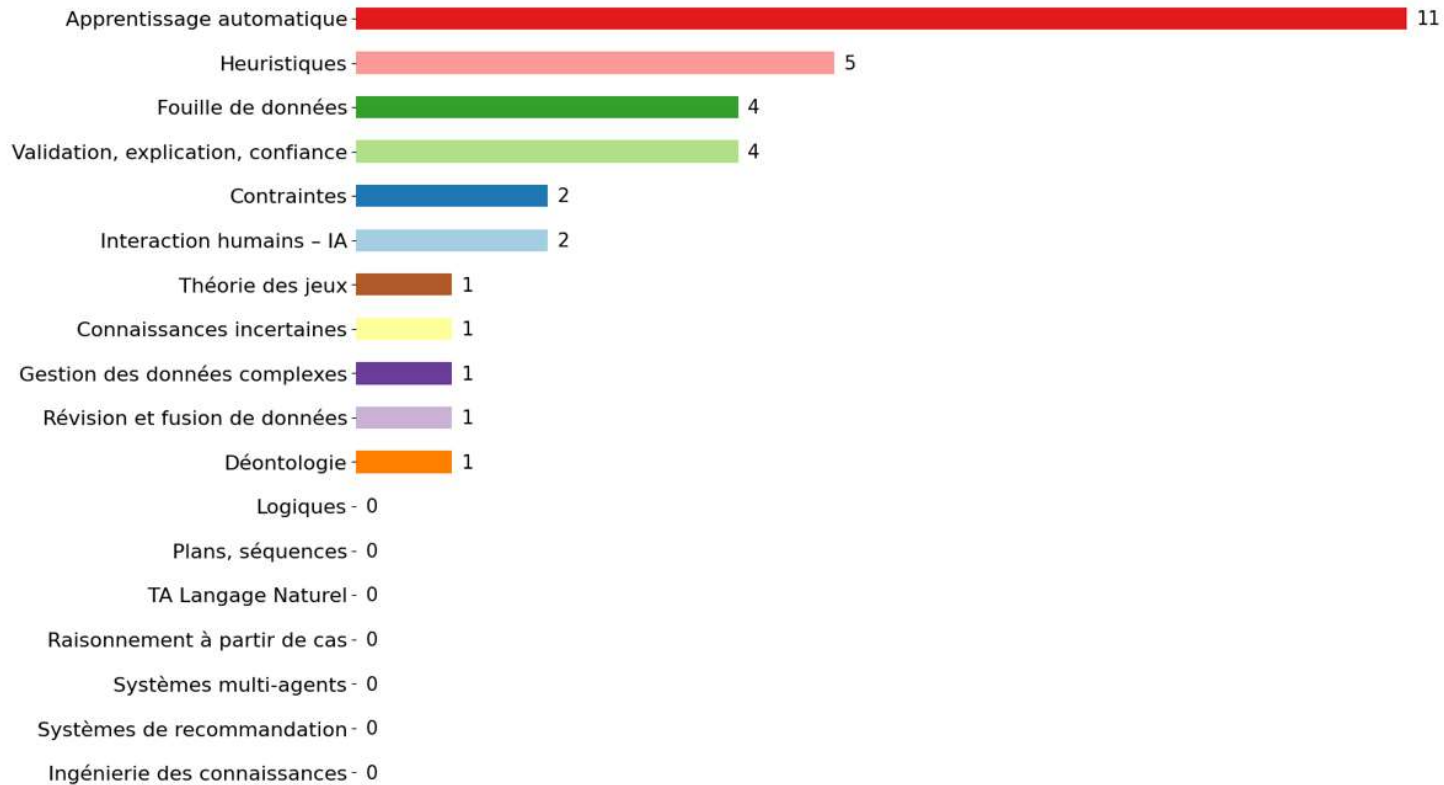
9 - Apprentissage automatique (de type : supervisé, ...)	11	11	0,33
0 - Approches heuristiques	5	16	0,48
13 - Validation, explication, confiance	4	20	0,61
10 - Fouille de données (syn. x mining), classification, extraction de connaissances à partir des données	4	24	0,73
3 - Approches par contraintes	2	26	0,79
14 - Interaction "humains – IA"	2	28	0,85
17 - Déontologie	1	29	0,88
15 - Révision et fusion de données, de cas, d'ontologies	1	30	0,91
12 - Gestion des données complexes	1	31	0,94
7 - Représentation et raisonnement sur des connaissances incertaines	1	32	0,97
1 - Approches basées sur la théorie des jeux	1	33	1,00

Lecture : Parmi les 33 répondants ayant mis « Estimation, observation » comme domaine principal ou secondaire, 11 utilisent la technique « 9 -Apprentissage automatique ».

Domaines et techniques utilisées

Estimation, observation

(sous forme de graphique)



Domaines et techniques utilisées

Planification, ordonnancement, gestion des flux

0 - Approches heuristiques	5	5	0,16
9 - Apprentissage automatique (de type : supervisé, ...)	5	10	0,31
12 - Gestion des données complexes (ex: réseaux sociaux, graphes,...)	3	13	0,41
2 - Techniques à base de logique	2	15	0,47
8 - Systèmes multi-agents (cognitifs)	2	17	0,53
15 - Révision et fusion de données, de cas, d'ontologies	2	19	0,59
6 - Raisonnement à partir de cas	2	21	0,66
16 - Ingénierie des connaissances	2	23	0,72
10 - Fouille de données (syn. x mining), classification, extraction de connaissances à partir des données	2	25	0,78
1 - Approches basées sur la théorie des jeux	1	26	0,81
3 - Approches par contraintes	1	27	0,84
5 - Techniques basées sur le langage naturel	1	28	0,88
7 - Représentation et raisonnement sur des connaissances incertaines	1	29	0,91
13 - Validation, explication, confiance	1	30	0,94
4 - Approches par plans, process, séquences...	1	31	0,97
17 - Déontologie	1	32	1,00

Domaines et techniques utilisées

Maintenance, pronostic

9 - Apprentissage automatique (de type : supervisé, non supervisé,...)	11	11	0,39
10 - Fouille de données (syn. x mining), classification, extraction de connaissances à partir des données	7	18	0,64
0 - Approches heuristiques	3	21	0,75
7 - Représentation et raisonnement sur des connaissances incertaines	2	23	0,82
12 - Gestion des données complexes (ex: réseaux sociaux, graphes, ...)	1	24	0,86
3 - Approches par contraintes	1	25	0,89
13 - Validation, explication, confiance	1	26	0,93
8 - Systèmes multi-agents (cognitifs)	1	27	0,96
5 - Techniques basées sur le langage naturel	1	28	1,00

Domaines et techniques utilisées

Diagnostic, détection de fautes

9 - Apprentissage automatique (de type : supervisé, non supervisé...)	8	8	0,40
10 - Fouille de données (syn. x mining), classification, extraction de connaissances à partir des données	4	12	0,60
15 - Révision et fusion de données, de cas, d'ontologies	2	14	0,70
0 - Approches heuristiques	2	16	0,80
12 - Gestion des données complexes (ex: réseaux sociaux, graphes,...)	1	17	0,85
7 - Représentation et raisonnement sur des connaissances incertaines	1	18	0,90
13 - Validation, explication, confiance	1	19	0,95
2 - Techniques à base de logique	1	20	1,00

Domaines et techniques utilisées

Analyse des systèmes, simulation, vérification, preuve

9 - Apprentissage automatique (de type : supervisé, ...)	5	5	0,25
0 - Approches heuristiques	3	8	0,40
8 - Systèmes multi-agents (cognitifs)	3	11	0,55
7 - Représentation et raisonnement sur des connaissances incertaines	2	13	0,65
10 - Fouille de données (syn. x mining), classification, extraction de connaissances à partir des données	2	15	0,75
1 - Approches basées sur la théorie des jeux	1	16	0,80
5 - Techniques basées sur le langage naturel	1	17	0,85
3 - Approches par contraintes	1	18	0,90
16 - Ingénierie des connaissances	1	19	0,95
6 - Raisonnement à partir de cas	1	20	1,00

Annexe

Classification retenue des techniques d'IA

Après l'étude de différentes classifications (Livre blanc INRIA, 2016 ; livre AFIA ; livre "Panorama de l'IA, Marquis, Papini, Prade, 2014"...),

Nous proposons de distinguer 4 grandes classes,

correspondant à différentes techniques de modélisation et traitement (ou raisonnement) sur des connaissances ou des données.

- Approches type RO
- Approches modélisation des connaissances et raisonnement
- Approches données
- Transversal

1. Approches type RO (algorithmes)

- a. Approches heuristiques (par exemple, méta-heuristiques, recherche locale, approches robustes)
- b. Approches basées sur la théorie des jeux
- c. Autres

2. Approches modélisation des connaissances et raisonnement

- a. Représentation et raisonnement sur des connaissances à base **logique**
 - i. ontologies et annotation
 - ii. approches logiques
 - iii. argumentation et contradiction
- b. Représentation et raisonnement par **contraintes** (ex. CSP)
- c. Représentation et raisonnement sur des connaissances sous forme de **plan**, de process, de séquence, de scénario
- d. Représentation et traitement des connaissances en **langage naturel**
- e. Raisonnement à partir de **cas**
- f. Représentation et raisonnement sur des connaissances **incertaines** (ex. Fonctions de croyance, réseaux bayésiens, modèles à base de graphes, propagation...)
- g. Systèmes multi-**agents (cognitifs)**
 - i. Décision collective, négociation confiance, émotions
 - ii. Comportement
 - iii. Représentation d'une organisation
- h. Autres

Remarque 1 : la classe Agents pose question car elle porte à la fois sur la distribution des connaissances (architecture distribuée) et sur la recherche de comportements. Sa nature est donc un peu différente des autres techniques classées ici (modèle statique vs modèle dynamique).

1. Approches type RO
2. Approches modélisation des connaissances et raisonnement

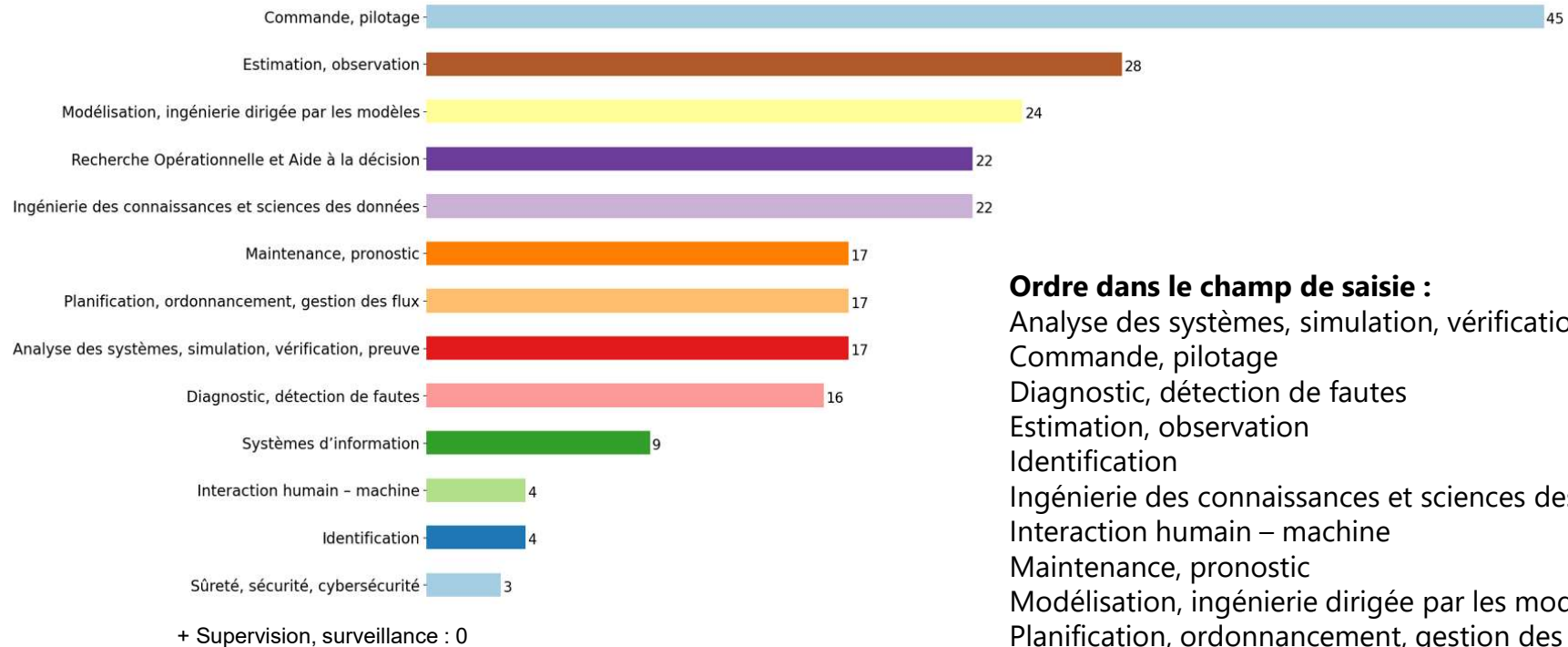
3. Approches orientées données (pas de représentation a priori de la connaissance)
 - a. Apprentissage automatique (de type : supervisé, non supervisé, mixte, par renforcement)
 - b. Fouille de données (syn. x mining), classification, extraction de connaissances à partir des données
 - c. Systèmes de recommandation et personnalisation
 - d. Gestion des données complexes (ex: réseaux sociaux, graphes, données semi-structurées ou non...)
 - e. Autres

4. Thèmes transversaux
 - a. Validation, explication, confiance
 - b. Interaction “humains – IA”
 - c. Révision et fusion de données, de cas, d'ontologies
 - d. Ingénierie des connaissances
 - e. Déontologie

 - f. Option : Décision (ex. multi-critères, préférences)

Remarque 2 : On trouve souvent des hybridations entre différentes techniques (ce qui rend difficile aussi la classification de ces techniques)

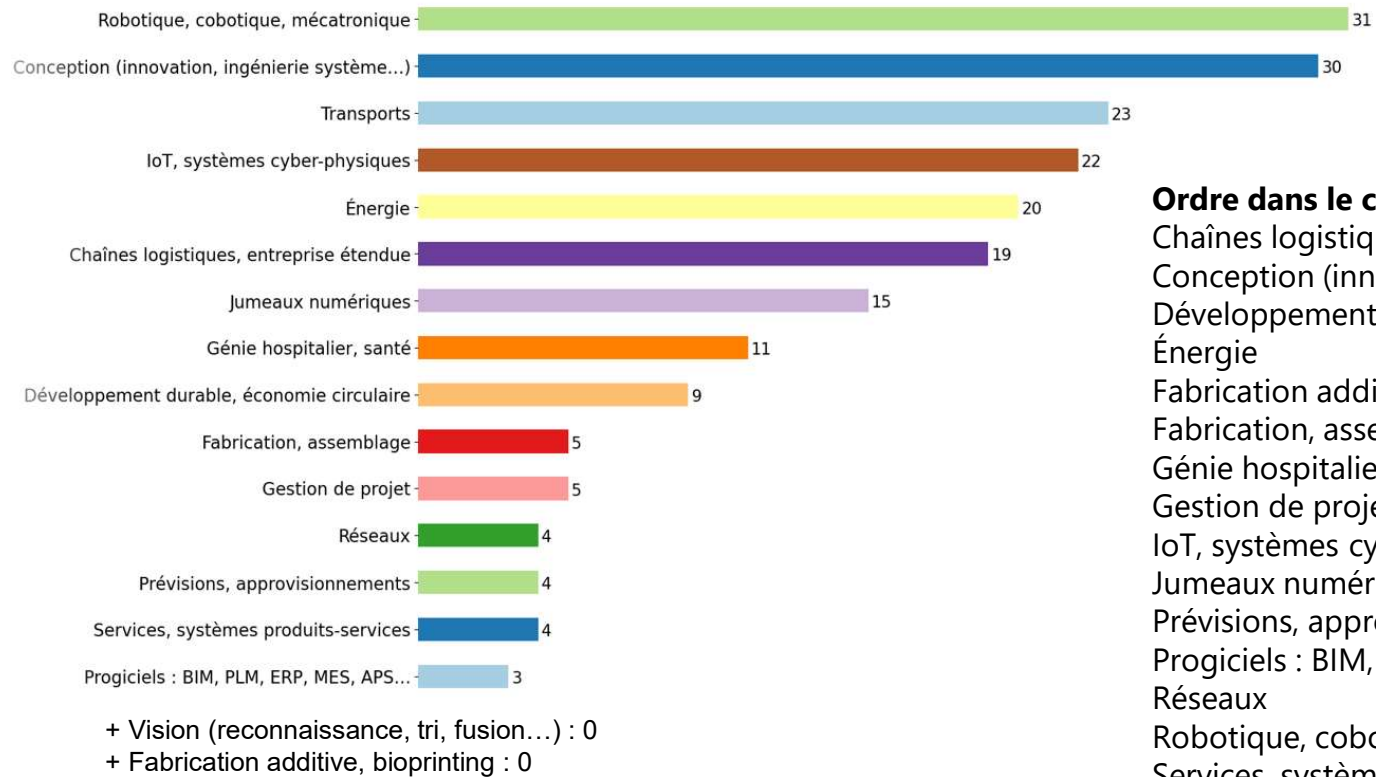
Classification retenue des domaines de recherche



Ordre dans le champ de saisie :

Analyse des systèmes, simulation, vérification, preuve
 Commande, pilotage
 Diagnostic, détection de fautes
 Estimation, observation
 Identification
 Ingénierie des connaissances et sciences des données
 Interaction humain – machine
 Maintenance, pronostic
 Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles
 Planification, ordonnancement, gestion des flux
 Recherche Opérationnelle et Aide à la décision
 Supervision, surveillance
 Sûreté, sécurité, cybersécurité
 Systèmes d'information

Classification retenue des objets de recherche



Ordre dans le champ de saisie :

Chaînes logistiques, entreprise étendue
 Conception (innovation, ingénierie système...)
 Développement durable, économie circulaire
 Énergie
 Fabrication additive, bioprinting
 Fabrication, assemblage
 Génie hospitalier, santé
 Gestion de projet
 IoT, systèmes cyber-physiques
 Jumeaux numériques
 Prévisions, approvisionnements
 Progiciels : BIM, PLM, ERP, MES, APS...
 Réseaux
 Robotique, cobotique, mécatronique
 Services, systèmes produits-services
 Transports
 Vision (reconnaissance, tri, fusion...)

Classes	Fréquence
54	15
38	12
31	10
59	10
69	7
75	7
65	6
91	6
33	5
68	5
44	4
30	3
35	3
56	3
57	3
66	3
76	3
29	2
60	2
67	2
74	2
81	2

Réponses par département

