

Point d'avancement Axe transverse Manipulation

Responsables scientifiques :

François Chaumette (Inria, Rainbow @ Irisa)

Joao Cavalcanti (Université de Montpellier @ Lirmm)

Responsables techniques :

Fabien Spindler (Inria, Rainbow @ Irisa)

Robin Passama (CNRS @ Lirmm)

Rappel du contexte

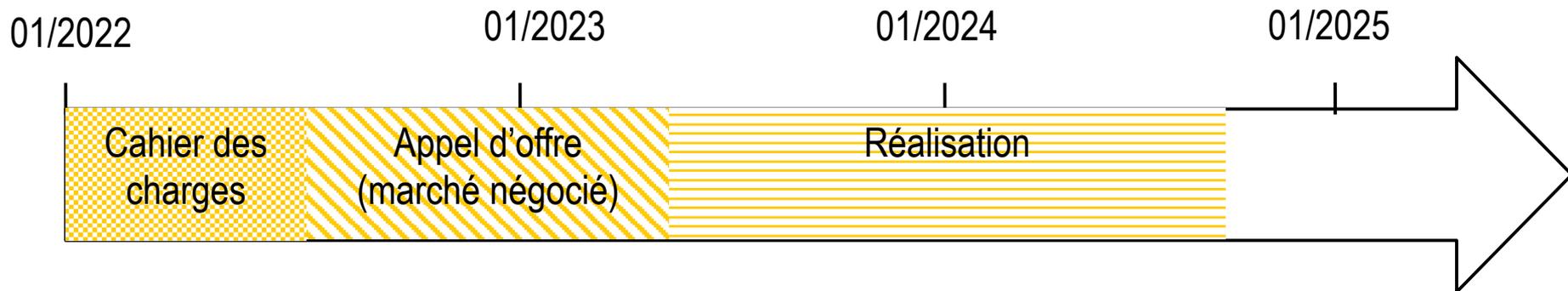
2 équipements prévus dans le cadre de Tirrex :

- ⦿ Nouvelle plateforme M4 (**M**anipulateur **M**obile **M**ulti-bras **M**ulti-capteurs) à l'Irisa
(650 k€ + 50 k€ d'apport Inria)
- ⦿ Peau capacitive sur les bras du robot Bazar au Lirmm
(350 k€)
- ⦿ Nouveaux équipements ouverts à la communauté dans deux laboratoires : Irisa & Lirmm

Plateforme M4 @ Irisa

Planning initial :

- Janvier-juin 2022 : rédaction du cahier des charges, discussions avec fournisseurs potentiels
- Fin juin 2022 : envoi du cahier des charges aux membres de l'axe manipulation
- Juillet 2022 : prise en compte de quelques retours et rédaction du CCTP initial
- Début septembre 2022 : lancement de l'appel d'offres + CCTP initial (marché négocié)
- Round 1 : Mi-octobre 2022 : sélection de deux candidatures : PAL Robotics & Tecnalìa
- Round 2 : Jusqu'à mi-mars 2023 : phase de questions & réponses et envoi du CCAP et CCTP finaux
- Round 3 : Mi-mai 2023 : analyse des offres et sélection du candidat PAL Robotics
- Round 4 : Conception, réalisation, recettes usine en sept., livraison entre sept. et oct. 2024



Plateforme M4 @ Irisa

7 dof manipulators, PAL design

- Controllable in pos, vel, torque
- EtherCAT bus at 1KHz
- 3kg payload
- Brakes at each joint
- Workspace: see later

Torso

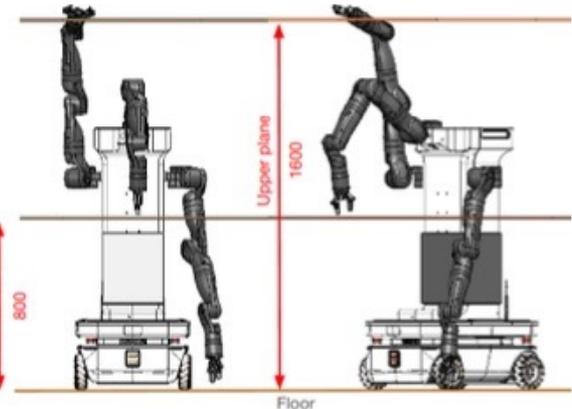
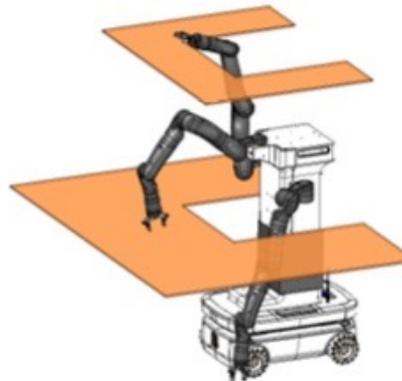
- 1 dof controlled as arms: see later
- Microphones & speakers
- Laptop tray: see later
- Extendable: see later

Tool link with

- Hexagonal part
- Modular design
- **Allegro hand** attachable to ATI mini45 FT sensor: see later

Mobile Base

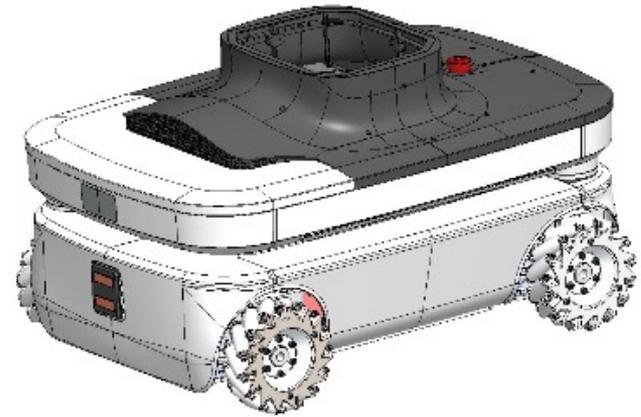
- Omnidirectional
- 360° FoV Lidars
- >5h autonomy



Plateforme M4 @ Irisa

Mobile base

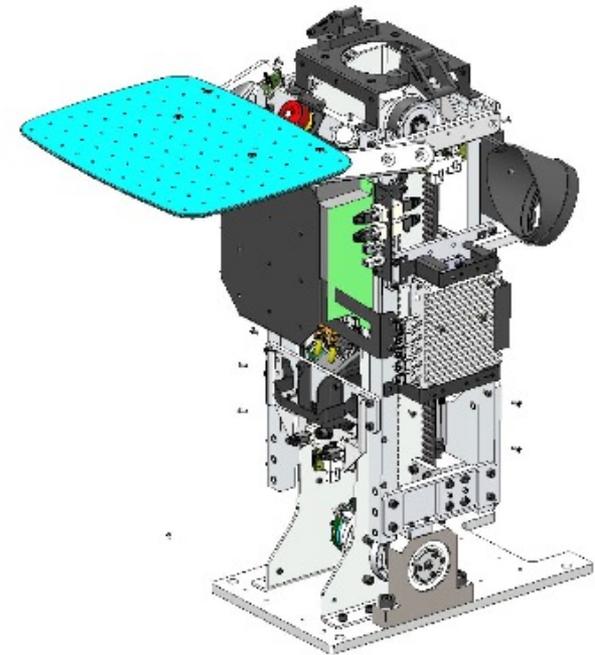
- Add physical and **wireless emergency button**
- **Cover improvement** for accessibility to service panel, **increase rigidity** and **fixation points**
- **Charger plug support reinforcement**



Plateforme M4 @ Irida

Torso

- **PAL rotary actuator for torso lift**
(EtherCAT)
- Integrate **new electronics**:
 - 6 ports Ethercat switch
 - Electronics for 3rd arm
 - Speakers, Audio amplifier, microphones
 - New PC
 - GPU as add-on



Plateforme M4 @ Irisa

Platform connectivity

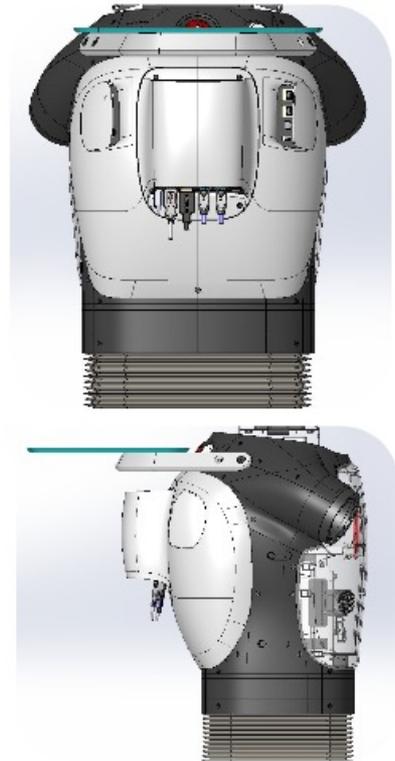
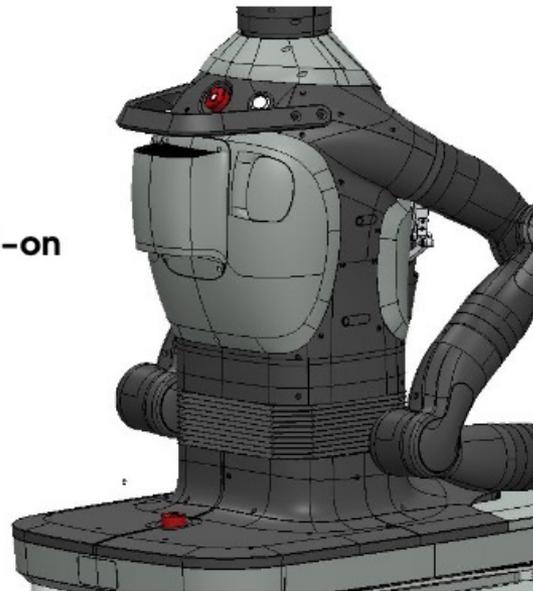
- Left user panel
 - 2x USB (C or A possible)
 - 1x HDMI
- Right user panel
 - 2x Ethernet
 - 1x Battery Power
 - 1x 12V Power



Plateforme M4 @ Irisa

Jetson GPU Add-on

- Nvidia Jetson AGX Orin 32GB
- GPU backpack as a removable add-on
- Connection to Right User Panel
- Easy access to GPU connectors



Plateforme M4 @ Irisa

End-effector integration

Integrations

- ATI Force/Torque sensor
- Allegro Hand
- ISO Mounting plate

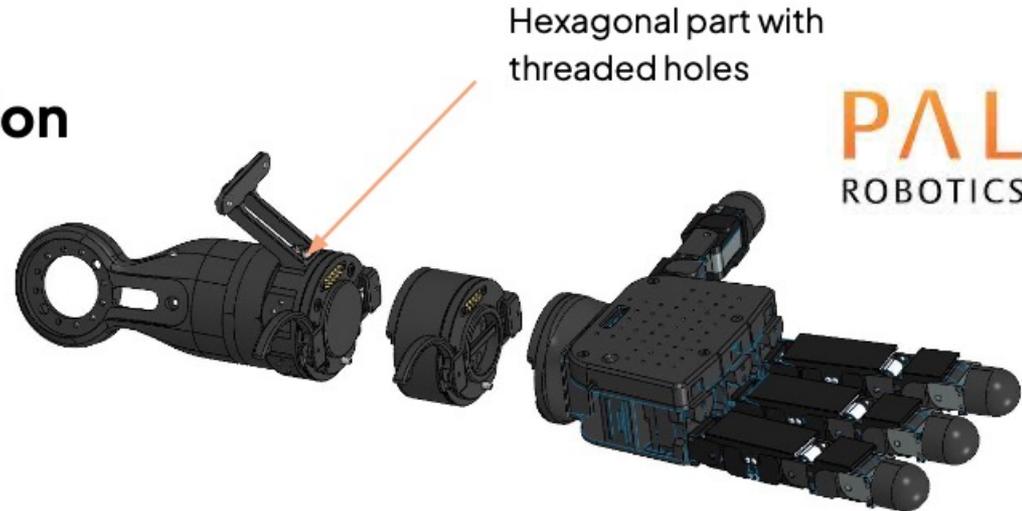
Mechanical characteristics

- **No tool** required
- Hexagonal part with threaded holes
- Tool changer **size** 12mm x 75mm

- **Increase of arm length**

Advantages

- Easier Assembly
- Easier Repairs
- Increased Modularity



End-effector integration – Electrical interface

Electrical connection: 10 pogo pins exposing

- **Power**
- **EtherCat**
 - 4 pins for **EtherCAT**
- **CAN Bus**
 - 2 pins for **battery power**: enough for FT sensor & Allegro hand
 - 4 pins for 2x **CAN buses**: Allegro Hand and Xela sensors



Plateforme M4 @ Irisa

End-effector integration – Allegro hand & Xela sensors

Max frequency

- **Xela tactile sensors:** 100Hz
- **Allegro hand:** 333Hz

Both connected with CAN bus

- No changes in EtherCAT topology whether connected or not

Justification

- No need for EtherCAT network re-configuration
- Not increase of EtherCAT frame size -possible issues with 1KHz control
- No overhead for packing and unpacking messages
- Almost native drivers from manufacturers
- All devices at their max frequency



Plateforme M4 @ Irisa

TIAGo INRIA – Software delivery



On-board computer characteristics

- CPU: Intel i7
- SSD: 1TB
- RAM: 32 GB
- OS: Ubuntu 22.04 LTS w/ RT Linux kernel + ROS 2 Humble

Basic Software Suite contains

- **Gazebo** dynamic simulation
- **ros2_control** full compatibility
- **Joystick** teleoperation
- **Movel! 2** Integration
- **Nav2**-based autonomous navigation
 - Laser-based mapping and self-localization
 - Obstacle avoidance
 - Navigation to a map point

Work in progress

- Full platform documentation w/ examples
- High level control requirements
- Training



Plateforme M4 @ Irisa

Coût total

- ⦿ 671.990,14 € (inclus 1 an de garantie puis 8 ans de maintenance)
- ⦿ Financement 650 k€ TIRREX, complément Inria

Ouverture à la communauté

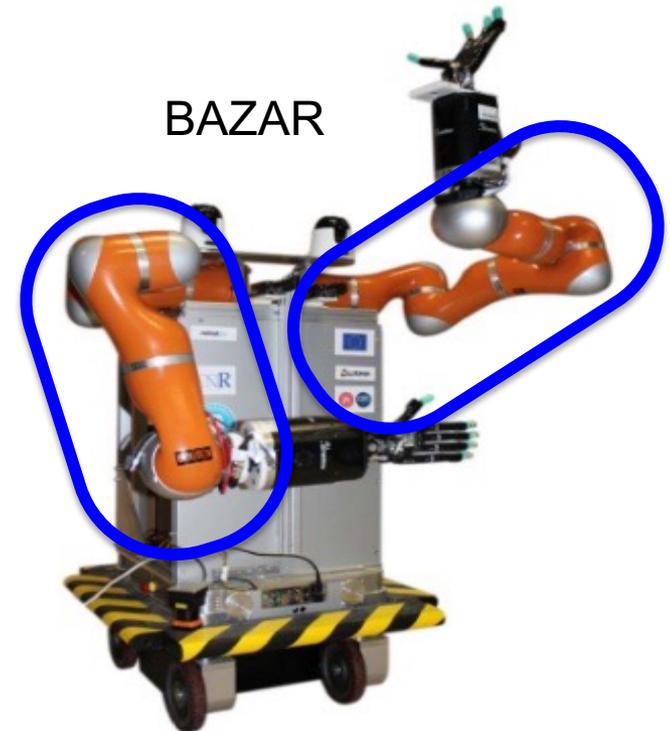
- ⦿ C'est l'objectif
- ⦿ Rendre la plateforme auditable d'ici 2025



Peau capacitive @ Lirimm

Nouvel équipement : Bras équipés de peaux capacitatives pour le robot BAZAR

- **Financement : 350 k€**
- **Fonctionnalités**
 - Percevoir l'approche d'objets (conducteurs) et de personnes
 - Détecter les contacts
 - *Estimer la pression/les efforts au contact*
- **Performances**
 - Haute résolution == beaucoup d'électrodes
 - Répartition homogène des électrodes
 - *Peau élastomère souple/molle*



Planning initial

Janvier 2022

Juin-Juillet 2022

Nov.-Dec. 2022

Rédaction cahier des charges

Lancement appel d'offre

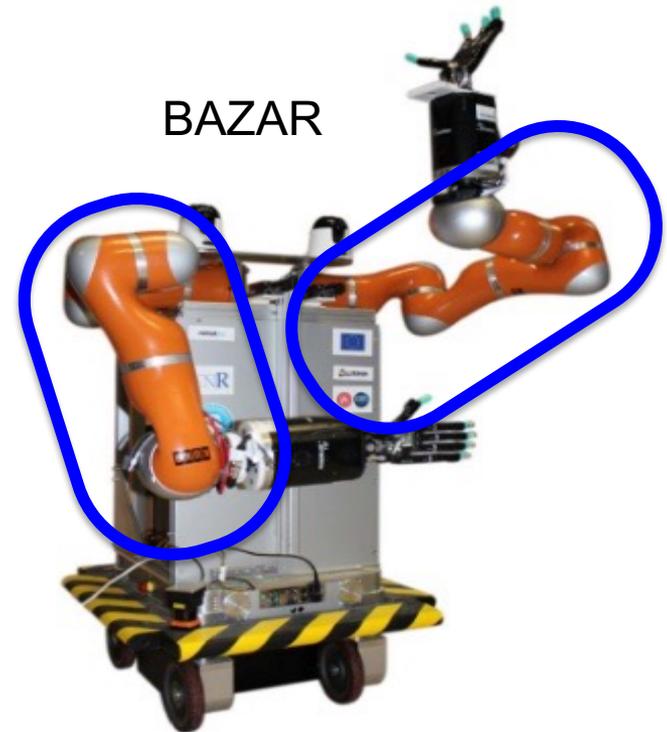
Sélection des offres

...

Peau capacitive @ Lirimm

Ancien équipement disponible : 2 bras KUKA LWR montés sur BAZAR

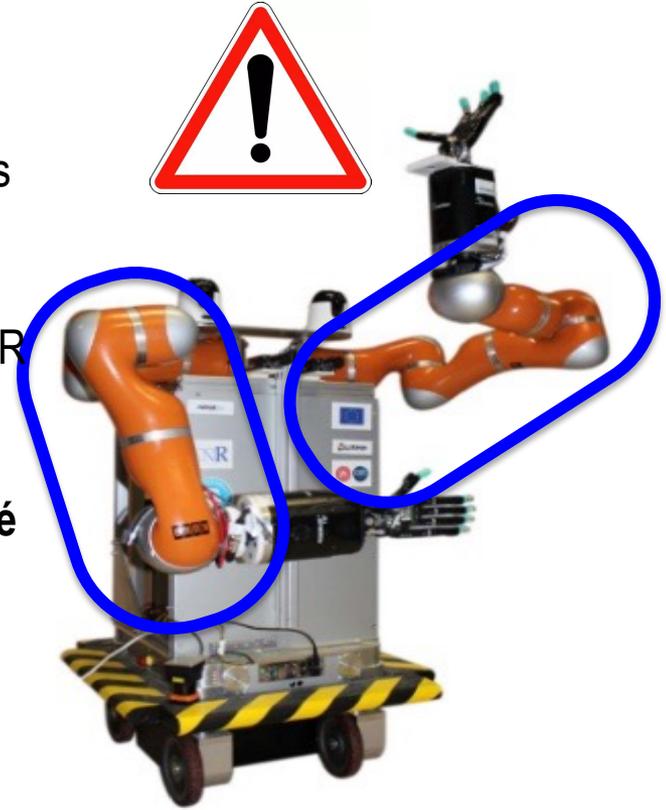
- **Points positifs**
 - Puissants
 - 7 DDL
 - Mesure de couple
 - Commande en couple possible (compliquée)
- **Problèmes**
 - *vieillissants (> 11 ans)*
 - *problèmes mécaniques*
 - *plus maintenus par KUKA*
 - pas de maîtrise de la technologie en interne (maintenance impossible)



Peau capacitive @ Lirimm

Solution initiale de peau capacitive

- **Approche envisagée**
 - **Sur-coques** (rigides ou souples) **collées** sur les coques existantes
- **Problèmes**
 - **Impossible de réutiliser les coques** pour un autre LWR (remplacement de bras défaillant impossible)
 - Coques des LWR sont de formes complexes
 - Complexité de production => **Coût des coques élevé**
- **Risque**
 - **perte d'un bras == perte coques == perte ~150k€**



› Nouveau planning

Janvier 2022

Décembre 2022

Recherche de solutions alternatives

Rédaction cahier des charges

...

Peau capacitive @ Lirimm

Solution étudiée : Peaux capacitatives **amovibles** sur LWR

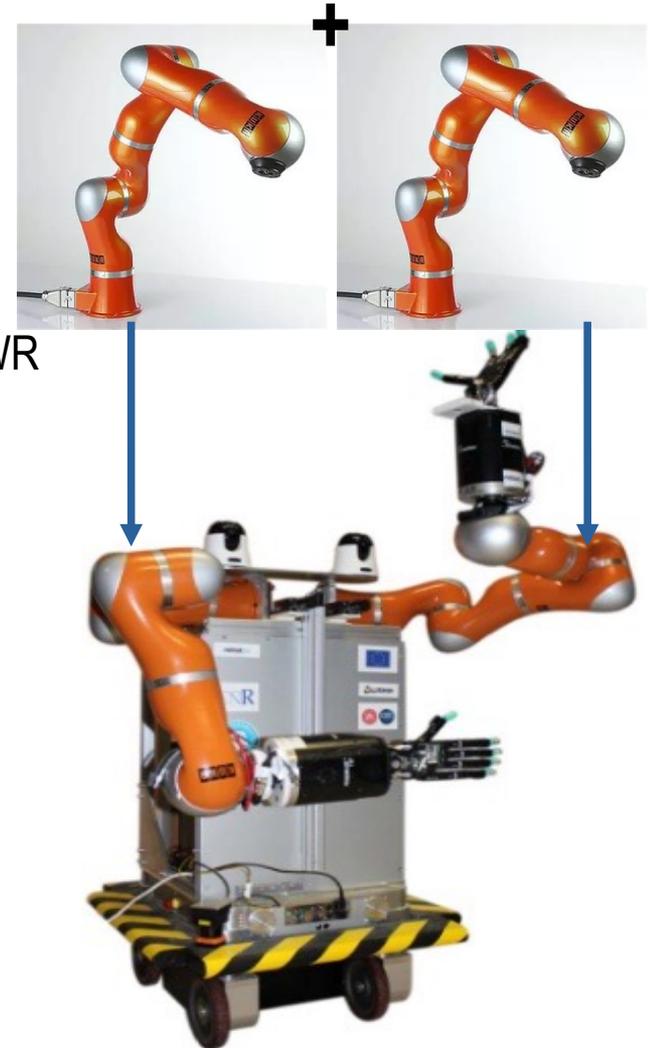
- **Approche**

- Acquisition de 2 LWR d'occasion : merci au LAAS !!
 - Solution de remplacement en cas de panne
- **sur-coques amovibles** spécifiques aux formes du LWR

- **Problèmes**

- **Jamais développées par le fournisseur**
- Si panne : quand même des coûts d'intégration/portage
- Surcoût par rapport à la solution initiale : ~50 k€

➔ Solution envisageable mais risquée et chère



Peau capacitive @ Lirimm

Solution étudiée : Peaux capacitatives sur de **nouveaux** bras commerciaux

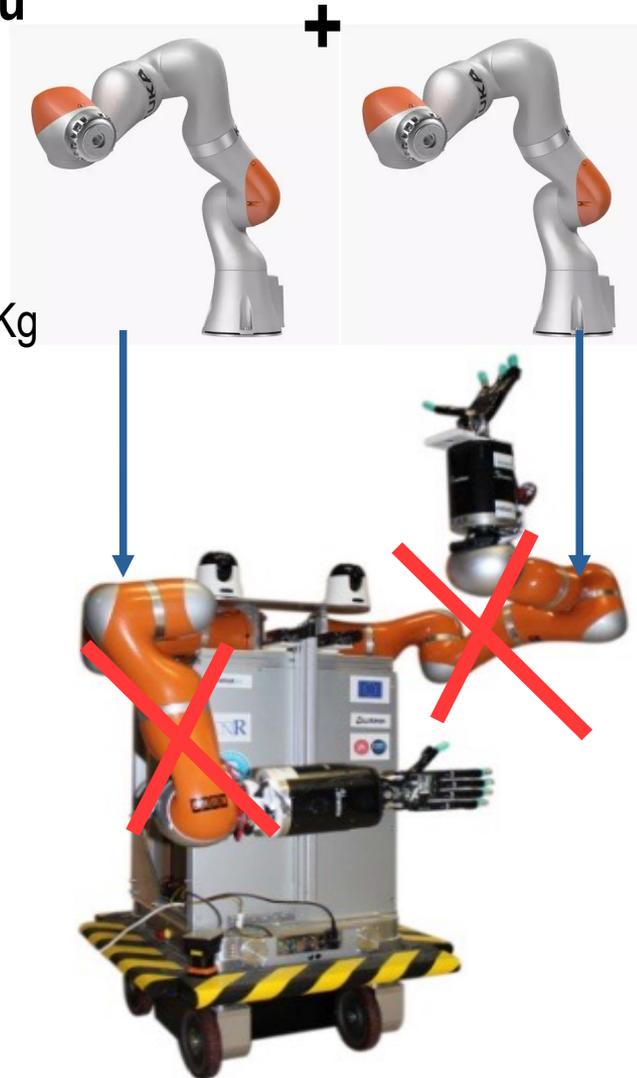
- **Approche**

- Acquisition de 2 bras grâce aux crédits TIRREX
 - 7 axes, mesure/commande couple, 90cm reach, 8-10 Kg payload
- **sur-coques classiques**

- **Problèmes**

- Achat des bras : surcoût très important 150-200 k€
- **Perte de garantie/maintenance si customisation des bras !**

➔ Solution rejetée



Peau capacitive @ Lirimm

Solution étudiée : Peaux capacitatives sur de **nouveau bras custom**

- **Approche**

- Conception/production de 2 bras grâce aux crédits TIRREX
 - 7 axes, mesure/commande couple, 90cm reach, 8-10 Kg payload

- **sur-coques classiques**

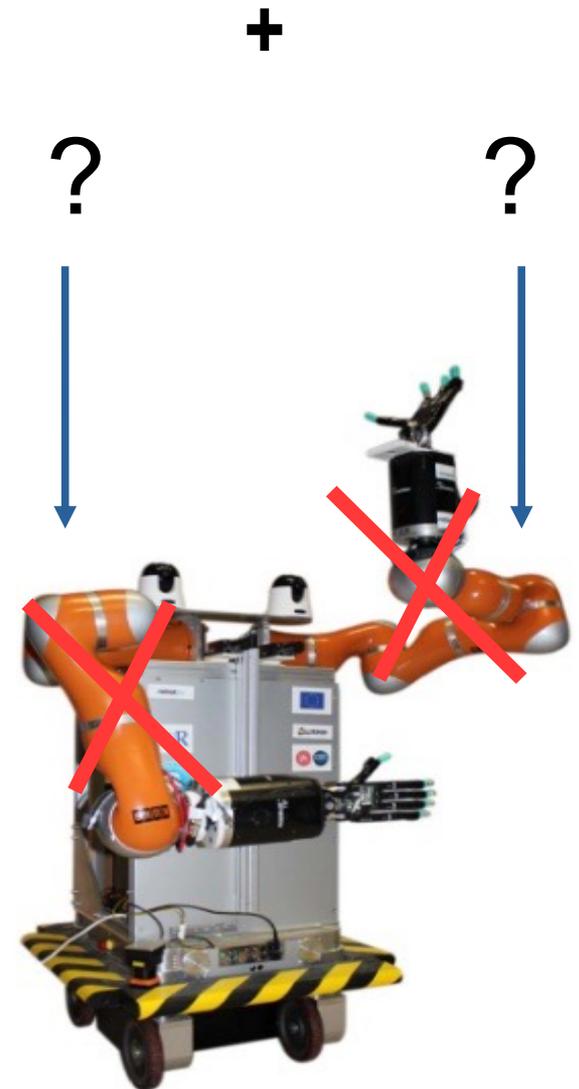
- **Avantages**

- open design, open software, composants sur étagère et protocoles standards
- Facilité de maintenance / réparation en interne
- Design permettant de standardiser les coques
 - Réduction du coût des coques : ~ 200 k€

- **Problèmes**

- Coût design + fabrication + intégration : ~160k€

➔ Solution envisageable mais risquée



Peau capacitive @ Lirimm

Solution retenue : Peaux capacitives sur de nouveaux bras custom

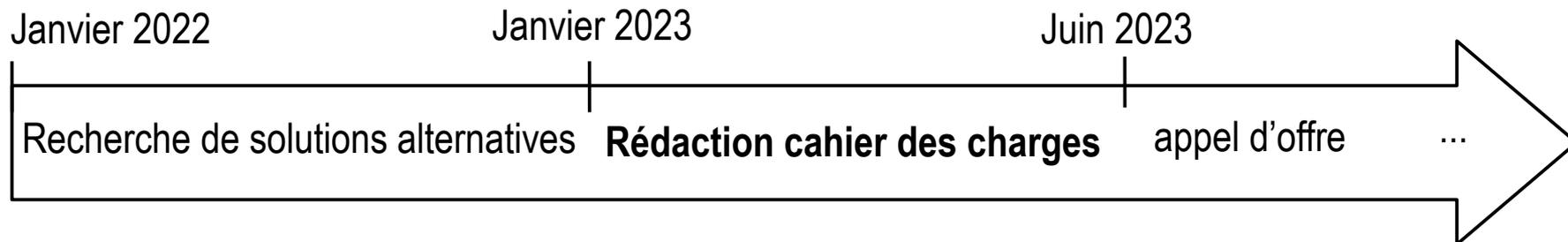
- **Avantages par rapport aux autres solutions**

- Techniques : contrôle total sur le software, la commande, le bus de communication interne
- Financier : solution la moins chère

- **Coques capacitives**

- Distance de détection max \approx 30 cm
- Électrodes sur toute la surface, taille électrode \leq 4x4cm
- Coût estimé : 200k€ à 250 k€ (si estimation des efforts + peaux souples)

- **Planning**



Peau capacitive @ Lirimm

Gestion de l'appel d'offre

- **Contraintes**

- Achat > 100k€ => procédure d'achat complexe
 - Passage obligatoire par **appel d'offre international**
 - **Commission locale (délégué régional)** pour valider la sélection des candidats
- Délai de livraison : fin 2025 au plus tard
 - Besoins des chercheurs (lancement de thèses)
 - Limiter impact de l'inflation !!

- **2 solutions possibles**

- 2 appels d'offres séparés pour les bras et les coques
- 1 appel d'offre unique

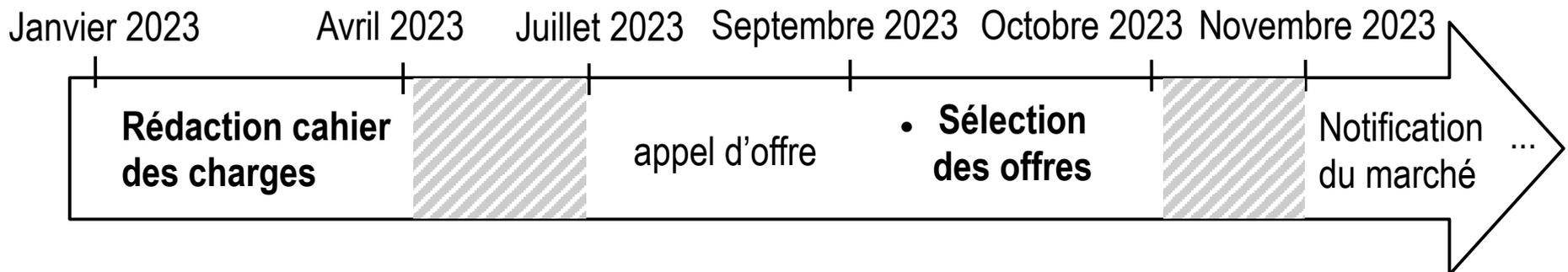
- **solution retenue** : appel d'offre unique avec **2 lots**

- Montage simplifiée => plus rapide à mettre en œuvre
- Besoin de **synchroniser le travail des prestataires dès la phase de conception**

Peau capacitive @ Lirimm

Gestion de l'appel d'offre

- **Rédaction du cahier des charges**
 - 2 lots => 2 CCTP
 - Lot 1 : conception, production et intégration des bras robotiques
 - Lot 2 : conception, production et intégration des peaux capacitives
- **Réception des offres** : Septembre 2023
 - Lot 1 : 1 seul candidat (**ALTED**), 2 variantes : ~160 k€
 - Lot 2 : 1 seul candidat (**FOGALE SENSORS**), 2 variantes : ~220 k€
 - Financement complémentaire nécessaire : 30-35 k€ (PEPR O2R)
- **Planning**



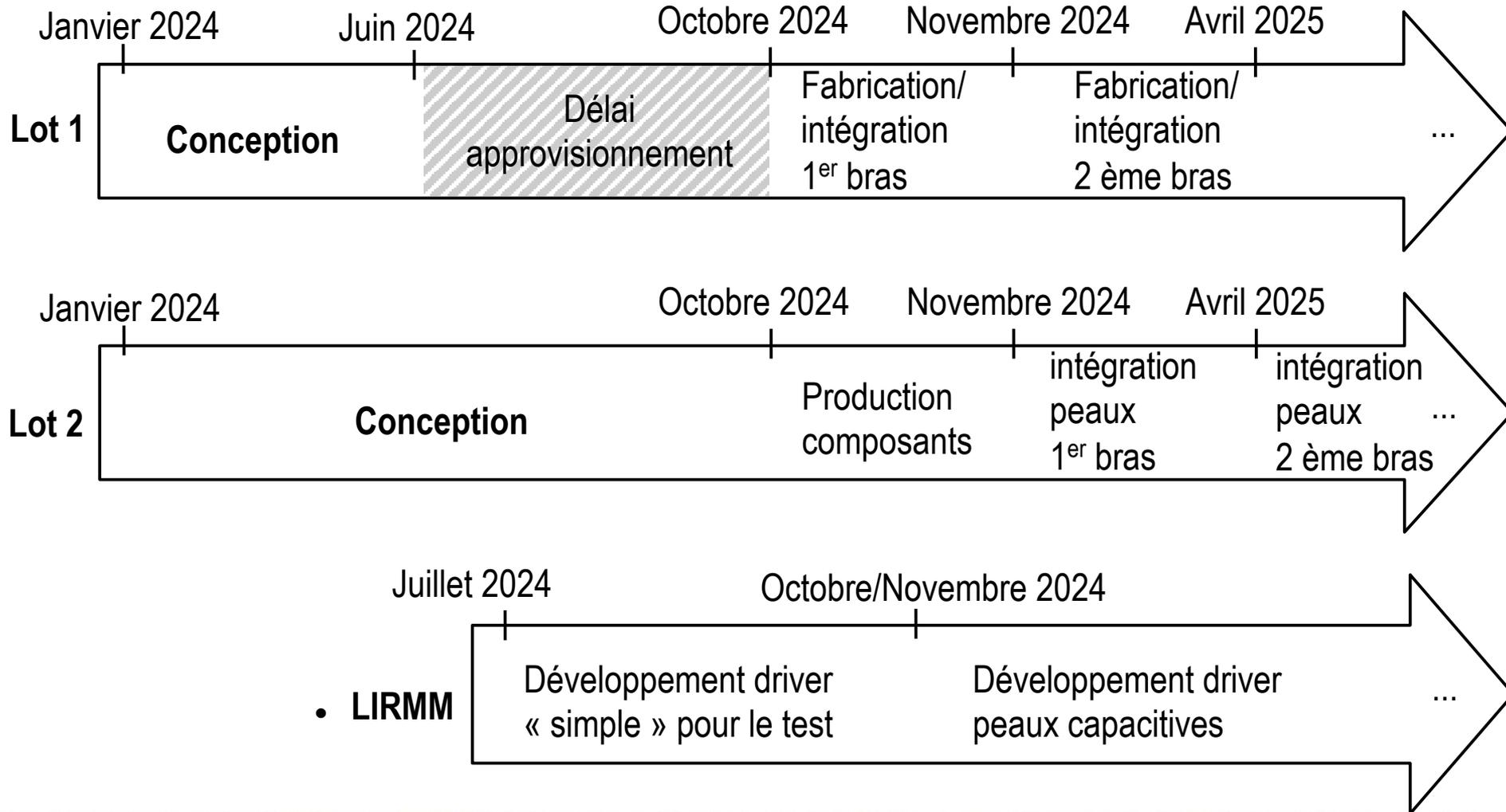
Peau capacitive @ Lirimm

Gestion de l'appel d'offre : feedback

- **Attention au délais administratifs !**
- **Laisser la possibilité de variantes**
 - Propriétés/fonctionnalités non obligatoires mais **souhaitables**
 - Permet **le choix en fonction du prix**
- **Bien préparer la sélection au moment de l'écriture du CCTP**
 - CCTP : indiquer ce qui est important (pour guider les réponses)
 - Tableau de notation : « objectiver » la notation
 - Questions à répondre par les prestataires pour chaque offre
 - Notation prédéfinie (en fonction de ce que vous voulez prioriser)
 - Intérêt :
 - Faire comprendre au prestataire vos priorités (construction des variantes)
 - Faciliter la sélection en commission
 - choix objectifs
 - faciliter l'argumentation

Peau capacitive @ Lirmm

Conception/production des bras



Merci de votre attention