



Académie Réseaux, Information et Société Numérique
Ecole Universitaire de Recherche DS4H

Présentation finale du projet

ARTEFACT

Daniel Gaffé

LEAT, I3S, LJAD, MSHS, GREDEG, LAPCOS, Univ. de Tokyo,
Ellicie Healthy, Abeeway

Motivations

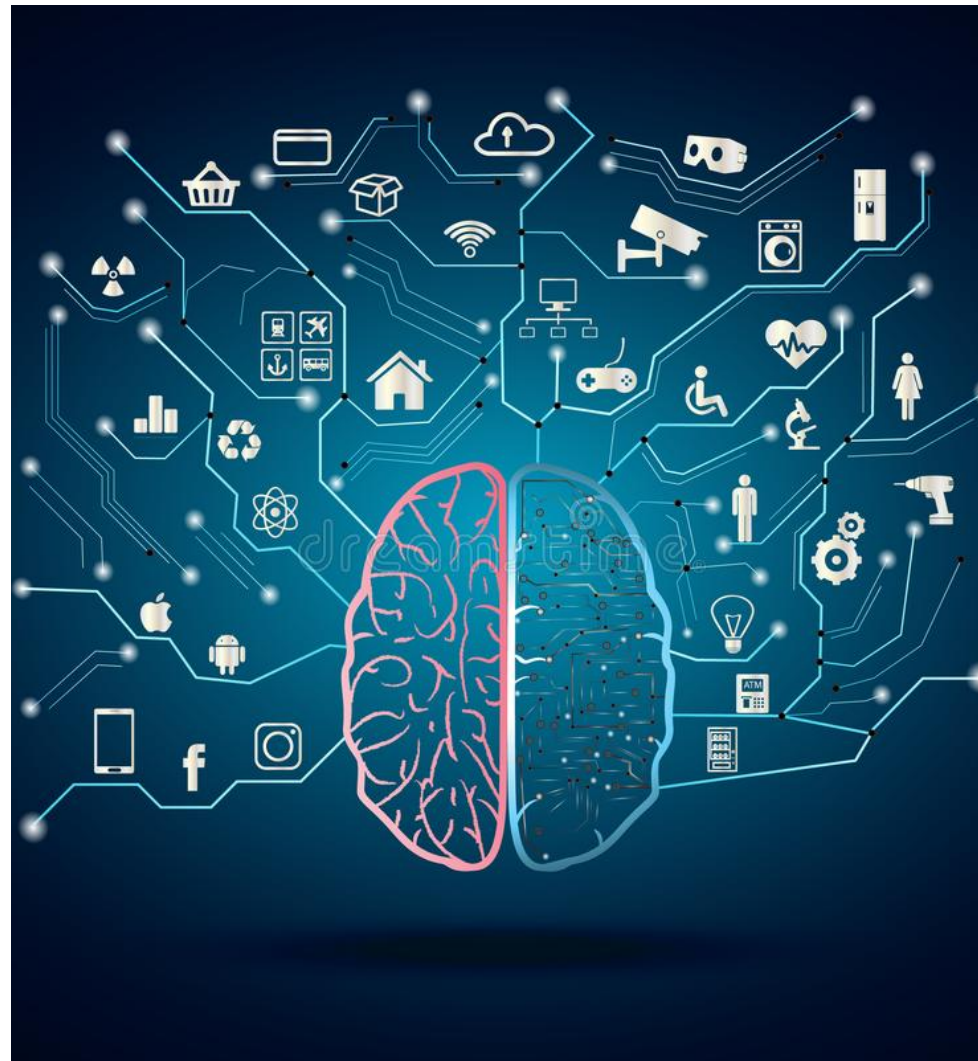
contexte et historique

- Prolifération des systèmes numériques connectés
- A terme association à l'IA et réseaux de neurones artificiels
- Questions :

➡ Apprentissage ?

➡ Appropriation ?

➡ Intégration par les utilisateurs ?



Organisation du projet

Dispositifs étudiés durant le projet :

- Cognition spatiale : Système de localisation par triangulation
- Suppléance sensorielle : Nouvelle génération de lunettes connectées
- Prothèses neuronales : Prototype de couplage neurones biologiques - artificiels

Localisation & cognition spatiale



Adaptation de l'existant



Expérimentation EPHAD



Analyse



Lunettes connectées & suppléance sensorielle



Etude amont

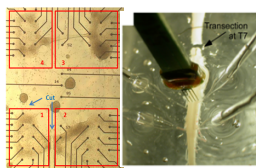


Conception de prototypes

Expérimentation centre de ref.



Hybridation neuronale & cognition étendue



Etude & modélisation



Conception



Expérimentation



Année 1

Année 2

Année 3

Artefact : WP 1

Localisation et cognition spatiale

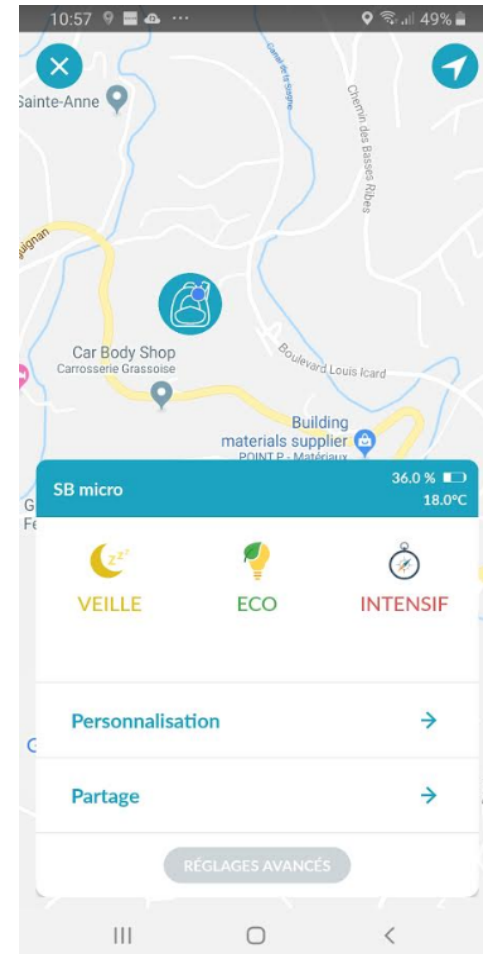
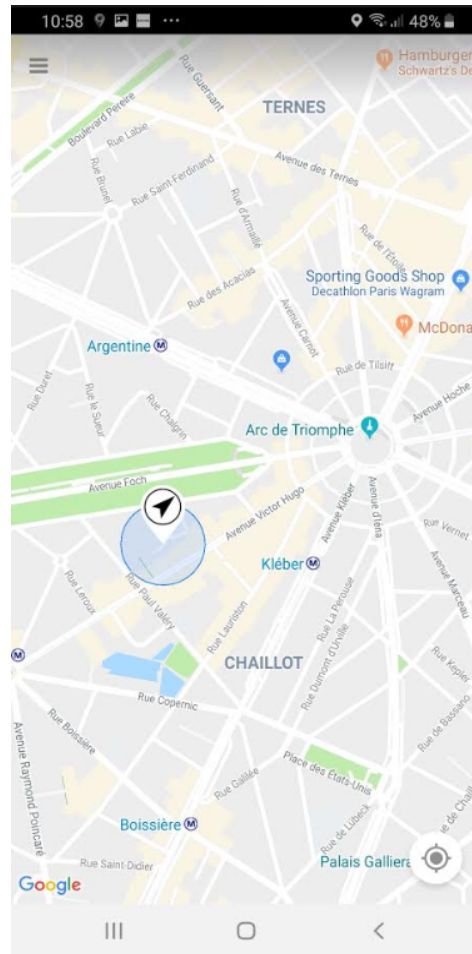
(Académie 5)

Discussion des spécifications pour suivi de personnes âgées

- Réunion entre Stephane Boudaud (Abeeway), Xavier Corveleyn (LAPCOS) et Fabien Ferrero (LEAT) en Novembre 2019.
- Identification des besoins :
 - ✓ Localisation en intérieur et en extérieur avec une précision de 5m
 - ✓ Utilisation principalement du GPS en extérieur
 - ✓ En intérieur, utilisation du WiFi et du beacon BLE
 - ✓ Contextualisation de la localisation grâce au beacon BLE (placé près du lit, dans la salle de bain, etc ...)
 - ✓ Forme et type d'accroche optimum devront être évalués sur les premiers tests
 - ✓ Informations additionnelles fournies par l'accéléromètre (activité) et le baromètre (altitude) pourraient être utilisées

Premières étapes

- Abeeway a fourni plusieurs devices pour les premiers tests
- Xavier Corveleyn a présenté les trackers à ses partenaires (Psychologues et direction d'EPHAD, de SIAD ...).
- Utilisation d'une application dédiées pour les tests

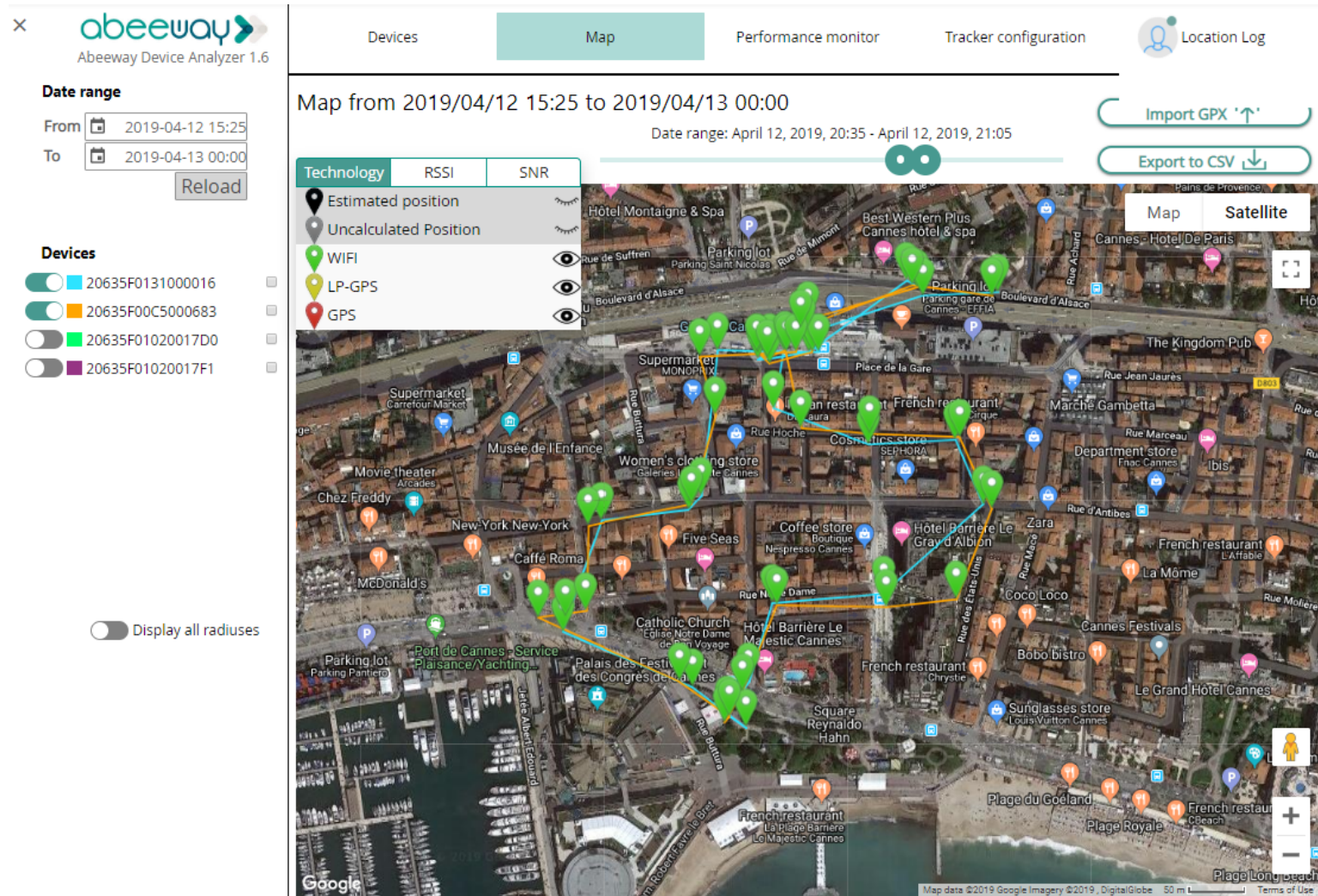


Premières étapes

- 5 trackers remontant une position donnée par le WIFI en intérieur ou GPS à l'extérieur lorsque la balise est en mouvement
- Les balises sont connectées sur le réseau Orange. Réseau privé prévu par la suite.
- L'interface graphique sur le web permet de montrer la position des trackers et de configurer des paramètres de la balises. Par exemple on peut remonter un taux d'activité à une période prédéfinie.
- Possibilité d'utiliser l'application web d'un partenaire qui renvoie la position dans le bâtiment en temps réel et des notifications par exemple :
 - Alerte en zone dangereuse
 - Alerte appui bouton SOS
 - Entrée dans une zone xyz
 - Reste dans une zone abc pdt plus de xxx minutes.
- Nouveau tracker de 65x85x8mm (badge) pourrait être envisagé

Premières étapes

- Exemple de suivi dans la ville de Cannes



Conclusions relatives au WP1

- ➔ Mise au point d'un logiciel de géolocalisation
- ➔ Expérimentations en extérieur (voir transparent précédent)
- ➔ Expérimentations en intérieur essentiellement effectuées dans une maison de retraite de la ville de Cannes
 - ➔ Les résultats ont permis d'identifier toutes les difficultés liées au déploiement d'un tracker miniature en institut en se basant sur des réseaux LP-WAN existants
- ➔ Mais second déploiement utilisant un réseau privé a été annulé à cause de la pandémie

Artefact : WP 2

Lunettes connectées & suppléance sensorielle

(Académies 1 et 5)

Organisation du projet

Dispositifs étudiés durant le projet :

- Cognition spatiale : Système de localisation par triangulation
- Suppléance sensorielle : Nouvelle génération de lunettes connectées
- Prothèses neuronales : Prototype de couplage neurones biologiques - artificiels

Localisation & cognition spatiale



Adaptation de l'existant



Expérimentation EPHAD



Analyse



Lunettes connectées & suppléance sensorielle



Etude amont

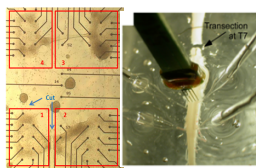
Conception de prototypes



Expérimentation centre de ref.



Hybridation neuronale & cognition étendue



Etude & modélisation



Conception



Expérimentation



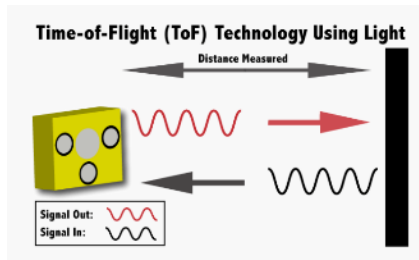
Année 1

Année 2

Année 3

Artefact WP2 - Principe

Représentation 3D de l'environnement utilisant la caméra embarquée ToF



Processus d'encodage de l'information Scène 3D vers information tactile

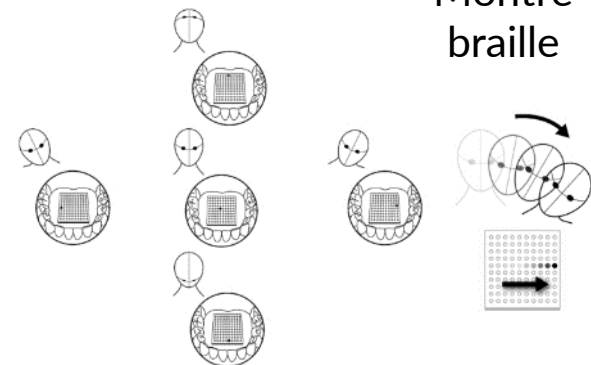
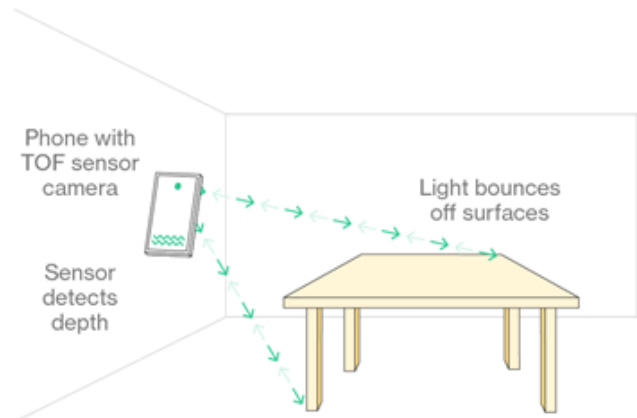


Restitution tactile



Montre braille

- 1 TOF sensor inside camera pulses out infrared light
- 2 Light bounces off surfaces and back to sensor
- 3 Sensor detects depth by measuring differences in energy levels
- 4 Depth data creates 3D map of environment



B. Diot et al. "Sensory Substitution for Balance Control Using a Vestibular-to-Tactile Device"

Artefact WP2 – Prototypes matériels

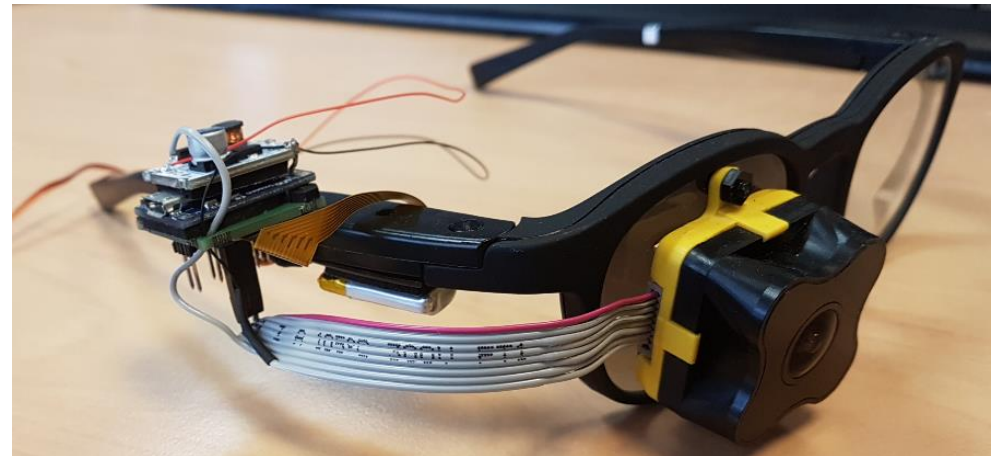
Intégration d'un capteur « Time of Flight »

- Evaluation du capteur ToF Terabeer 64 pixels
- Intégration au prototype Ellicie Healthy
- Interfaçage et communication avec les lunettes intelligentes



Camera ToF:

- 64 pixels
- 10cm to 5m
- 130 fps (max)
- 2 modes (« Fast scan », « Close range »)

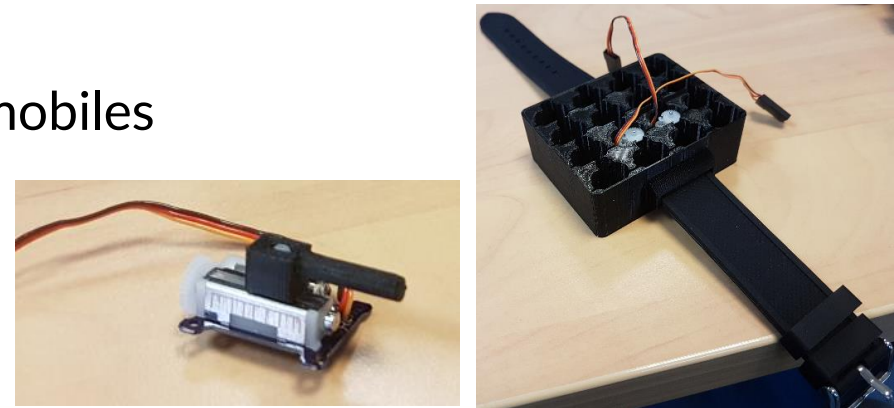


Artefact WP2 – Prototypes matériels

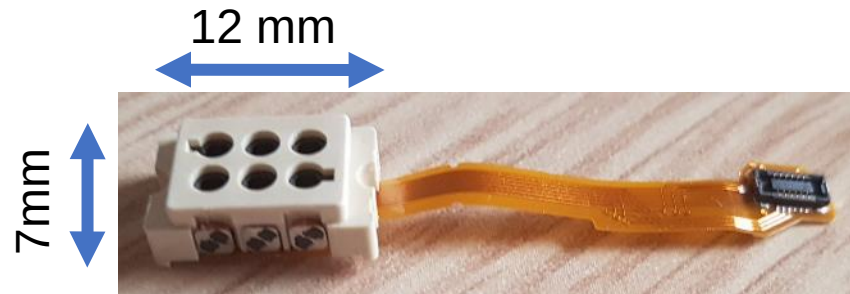
Restitution tactile de l'information

- Premier démonstrateur
 - ↳ Bracelet avec 16 points de contact mobiles
- Utilisation d'imprimante 3D
- Nécessite des contrôleurs de Servomoteurs
- Composants sur l'étagère

Objectifs :
réduire la taille et le poids
des prochains démonstrateurs

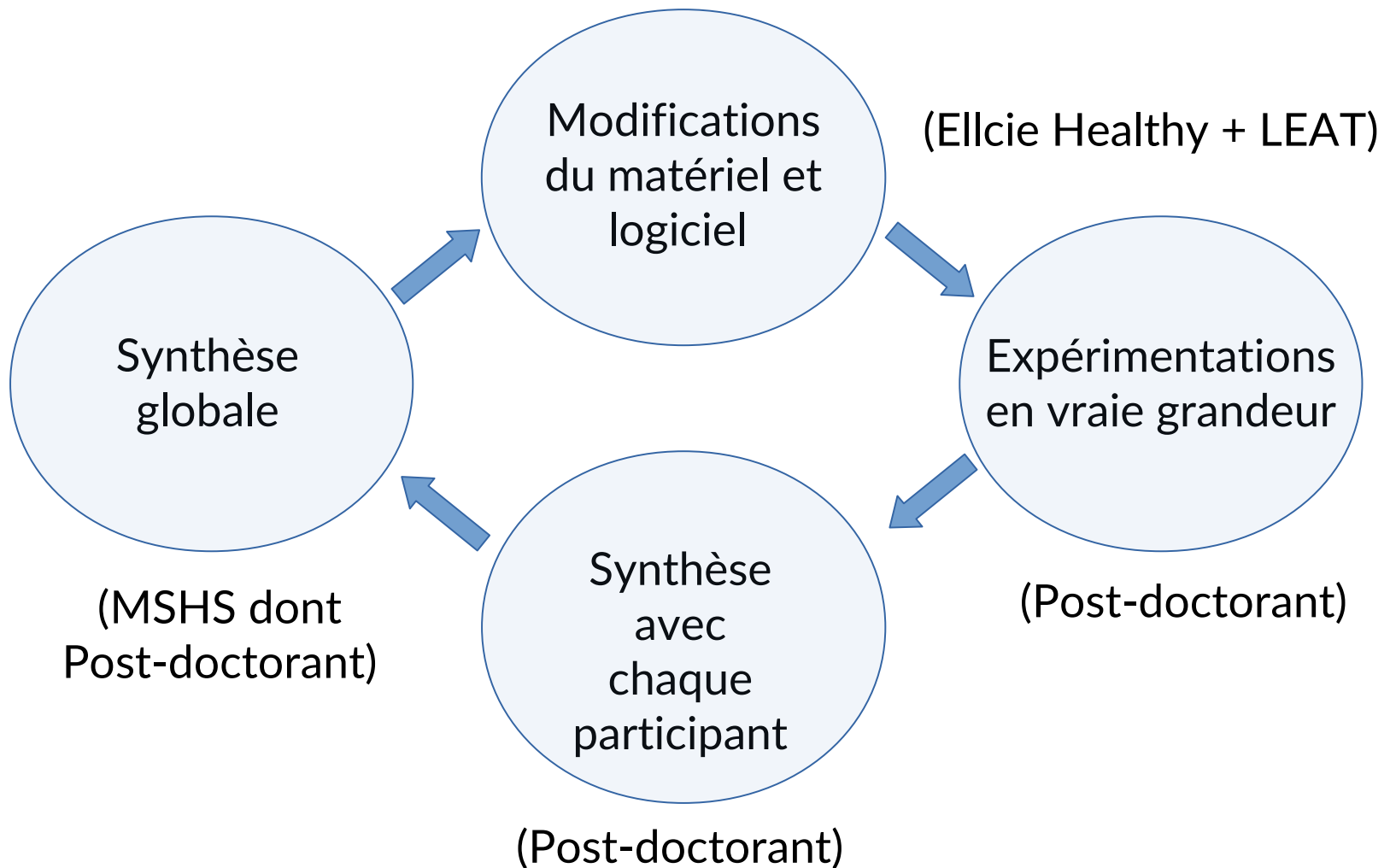


Premiers prototypes de servomoteurs



Actionneur électromagnétique

ARTEFACT WP2 – Processus de conception



Cycle de CO-conception effectué

ARTEFACT WP2 – Processus de conception

Expérimentations et Synthèses

<i>Prise de contact</i>	<i>Guide d'entretien</i>	<i>1er trajet observé, 1er test prototype</i>	<i>2eme test proto</i>	<i>3 & 4 test proto</i>
64	48	30	30	9
personnes pour entretiens de prise de contact [déficiences visuelles variées cf. note détaillée]	personnes malvoyantes et aveugles pour entretien selon un guide d'entretien pré-conçu sur la locomotion	personnes pour présentation <i>in visu</i> du prototype, premier test, premier observation trajet et commentaires détaillés	testeurs : 2ème test, premier <i>parcours commenté</i> [tout âge, tout type de malvoyance/cécité], dont 15 filmés.	Ayant effectué au moins quatre fois les tests (jeunes : 5, plus âgés : 4) : 3 tests ou plus (4) filmés sur un trajet

(Extrait du rapport final du post-doctorant : M. Mbanza)



Assez forte implication des utilisateurs



Un très grand nombre de remarques constructives



4 cycles complets pour une dizaine d'utilisateurs

Conclusions relatives au WP2

- ➔ Expérimentations ont pu avoir lieu malgré les confinements
- ➔ Echanges technique /MSHS très constructifs
- ➔ Beaucoup de modifications techniques proposées au niveau MSHS ont été entérinées par l'entreprise

➔ **Produit maintenant commercialisé ?**

<https://ellcie-healthy.com/les-solutions-pour-les-malvoyants-et-le-projet-artefact>

➔ A notre connaissance, c'est la première fois que l'utilisateur est autant impliqué dans un processus de Co-conception industriel !

Artefact : WP 3

Hybridation neuronale & cognition étendue
utilisant l'approche synchrone

(Académie 1)

Organisation du projet

Dispositifs étudiés durant le projet :

- Cognition spatiale : Système de localisation par triangulation
- Suppléance sensorielle : Nouvelle génération de lunettes connectées
- Prothèses neuronales : Prototype de couplage neurones biologiques - artificiels

Localisation & cognition spatiale



Adaptation de l'existant



Expérimentation EPHAD



Analyse



Lunettes connectées & suppléance sensorielle



Etude amont

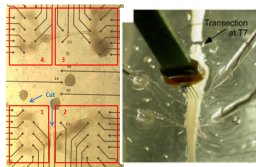
Conception de prototypes



Expérimentation centre de ref.



Hybridation neuronale & cognition étendue



Etude & modélisation



Conception



Expérimentation



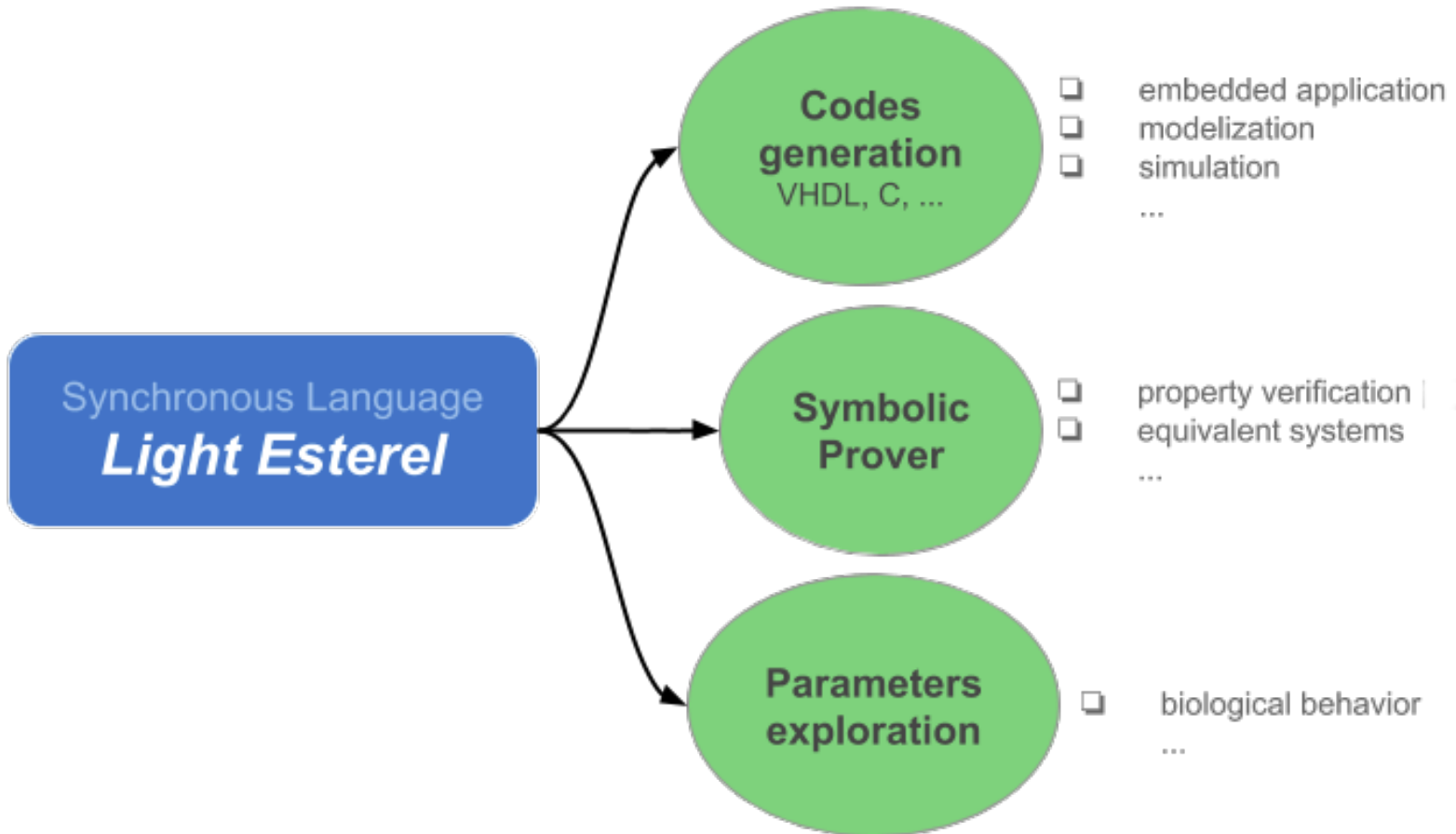
Année 1

Année 2

Année 3

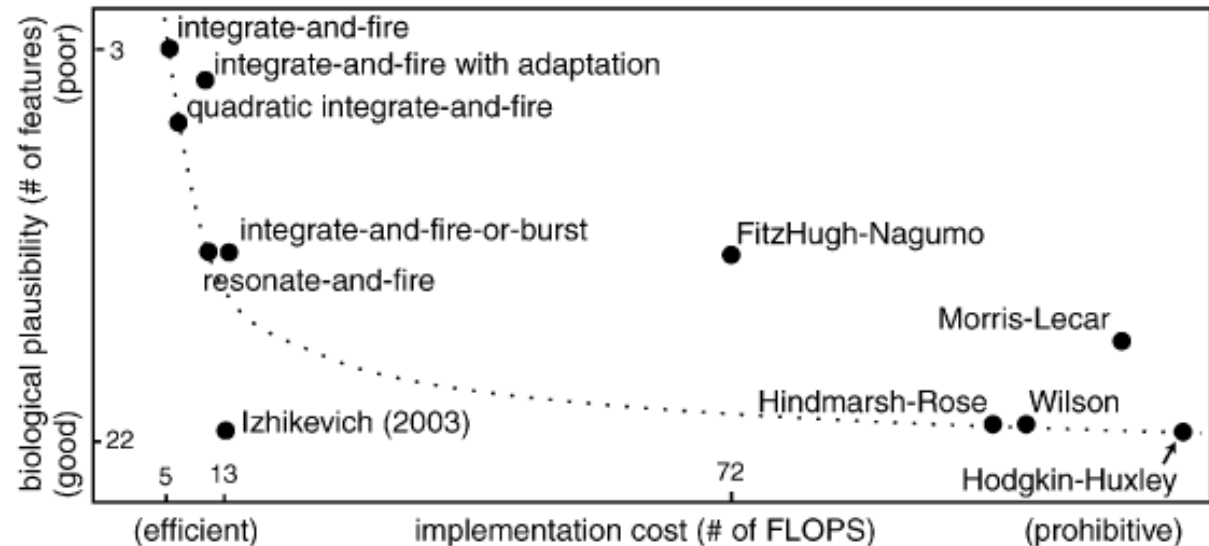
Modélisation en Light Esterel

Intérêt de l'approche synchrone



Modélisation en Light Esterel de plusieurs modèles de neurones

- Modèles définis :
 - Leaky Integrate et Fire (LIF)
 - Izhikevich (IZH)
 - Digital Spiking Silicon Neuron (DSSN)
 - Hodgkin-Huxley (HH)



Programme de travail de Marino Rasamuel au Japon

- ➡ Initialement prévu en 3^e année de thèse !
- ➡ Synchronisation avec la conférence BioCAS au Japon fin octobre 2019
- ↳ Comparaison de nos modèles vhdl générés par l'approche synchrone avec ceux de T. Levi
- ↳ Tentative d'interconnection bouclée neurone artificiel/neurone biologique
- ↳ Culture cellulaire morte avant les essais !

Solutions de remplacement envisagées

➔ Faire appel aux compétences locales ! (L JAD)

➔ Plusieurs réunions avec F. Grammont (avril 2020)

Comparaison des systèmes d'acquisition

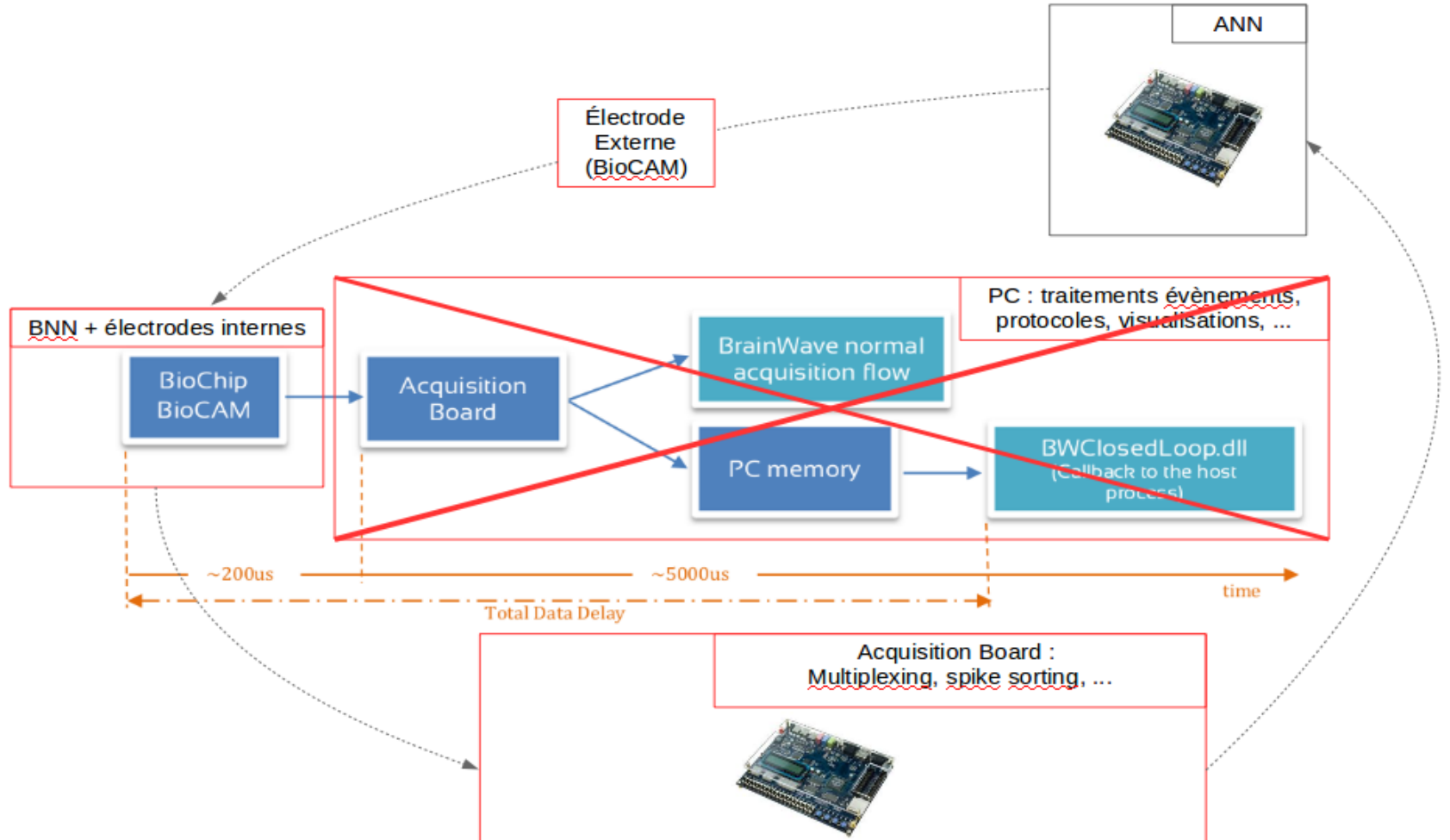


	BioCAM	MED64
Type de réseau biologique	Tranches de cervelet (actuel) + Cultures in vitro (possible mais non expérimentés)	Cultures
Nombre d'électrodes (à double sens)	4096	64
Nombre d'électrodes de stimulation simultanée possible	16 internes parmi les 4096 OU 1 externe (4 voies à préciser)	2 internes parmi les 64
Temps de traitement signaux électrodes → <i>spikes detection</i>	~ 5 ms	< 1 ms
Closed-Loop	Oui mais latence non négligeable	oui

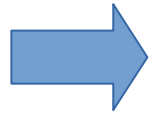
Solutions de remplacement envisagées

Malheureusement BioCAM est un système fermé

↳ Ne garder que la tête d'acquisition ?



Génération automatique d'architectures matérielles de Réseaux de Neurones



Définition d'un format de représentation d'un réseau de neurones (format gnl)

```
-- Name <Nom_fichier> : NEURONS : <nb neurons> : SYNAPSES : <nb synapses>  
Name net7_test : NEURONS : 7 : SYNAPSES: 49;
```

```
NEURONS :
```

```
-- cas du LIF    <inv_tau> : <v_threshold> : <v_reset>
```

```
LIF : 0.2 : 20.0 : 0.0,    -- neurone 1 (n1)
```

```
LIF : 0.2 : 20.0 : 0.0,    -- neurone 2 (n2)
```

```
LIF : 0.2 : 20.0 : 0.0,    -- neurone 3 (n3)
```

```
...
```

```
SYNAPSES :
```

```
-- <n_pre> : <n_post> : <P> : <inv_t_x> : <inv_tau_syn> : <W> : <delay>
```

```
--
```

```
0 : 1 : 0.1 : 0.09 : 1.7 : -1.9 : 2, -- sEXT-1
```

```
0 : 2 : 0.2 : 0.09 : 1.7 : -1.9 : 5, -- sEXT-2
```

```
...
```

```
1 : 2 : 0.1 : 0.11 : 1.7 : -1.9 : 25, -- s1-2
```

```
1 : 3 : 0.1 : 0.12 : 1.7 : -1.9 : 8, -- s1-3
```

```
...
```

```
2 : 1 : 0.1 : 0.09 : 1.9 : -1.9 : 1, -- s2-1
```

```
2 : 3 : 0.1 : 0.09 : 1.7 : -2.0 : 50, -- s2-3
```

```
...
```



Traduction automatisée vers Light Esterel

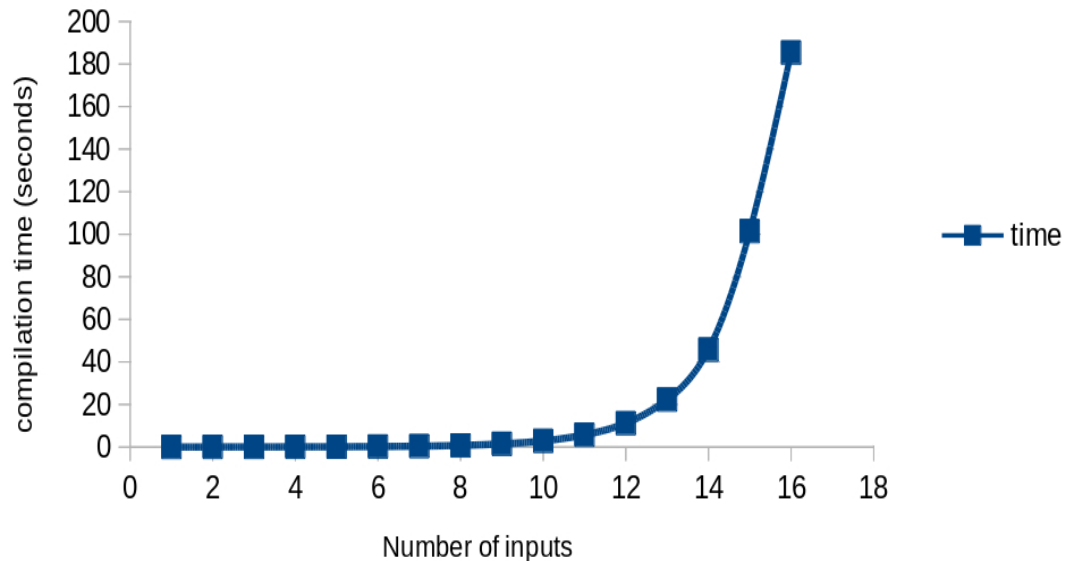


Logiciel genlenet

Génération automatique d'architectures matérielles de Réseaux de Neurones

Temps de compilation de CLEM pour un neurone

MAIS ...



- Le temps de compilation augmente en fonction du nombre d'entrée !

Pour 20 entrées : `compilation finished in 3421.87 seconds` = 50 min

- Or par neurone, en moyenne il peut y avoir 10.000 synapses / neuron

↳ impossible donc de compiler 10.000 entrées pour un neurone artificiel ...

Génération automatique d'architectures matérielles de Réseaux de Neurones

MAIS ENCORE ...

Flow Summary	
Flow Status	
Quartus II 32-bit Version	
Revision Name	
Top-level Entity Name	
Family	
Device	
Timing Models	
Total logic elements	
Total combinational functions	
Dedicated logic registers	
Total registers	
Total pins	
Total virtual pins	
Total memory bits	
Embedded Multiplier 9-bit elements	
Total PLLs	

Successful - Sat Oct 24 03:28:46 2020
13.0.0 Build 156 04/24/2013 SJ Web Edition
NET
NET1
Cyclone IV E
EP4CE115F29C7
Final
114,170 / 114,480 (100 %)
<u>114,161 / 114,480 (100 %)</u>
3,503 / 114,480 (3 %)
3503
30 / 529 (6 %)
0
0 / 3,981,312 (0 %)
0 / 532 (0 %)
0 / 4 (0 %)

Successful - Sun Oct 25 02:10:33 2020
13.0.0 Build 156 04/24/2013 SJ Web Edition
NET
NET1
Cyclone IV E
EP4CE115F29C7
Final
43,247 / 114,480 (38 %)
<u>42,947 / 114,480 (38 %)</u>
3,503 / 114,480 (3 %)
3503
30 / 529 (6 %)
0
0 / 3,981,312 (0 %)
<u>532 / 532 (100 %)</u>
0 / 4 (0 %)

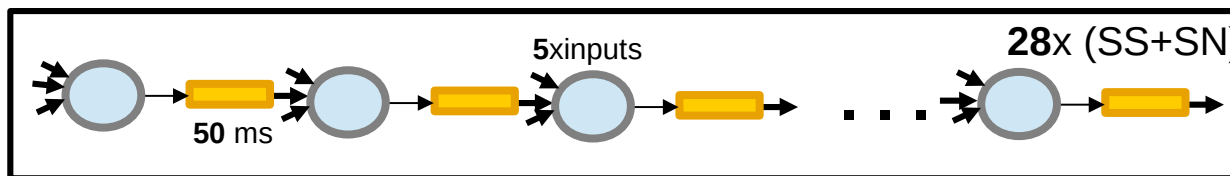
Exemple du Réseau « chenille »

Résultats synthèse
SANS DSP

$F_{\max} = 19 \text{ Mhz}$

Résultats synthèse
AVEC DSP

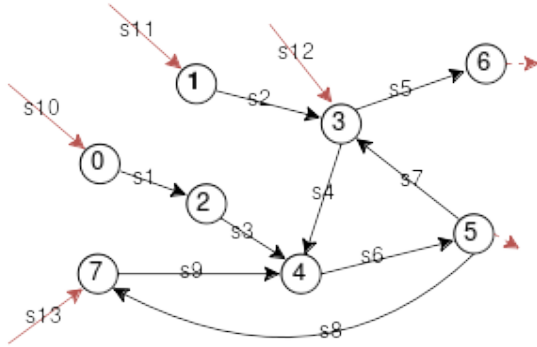
$F_{\max} = 20 \text{ Mhz}$



Occupation linéaire du FPGA en terme de Logic Element mais taille limitée !!!

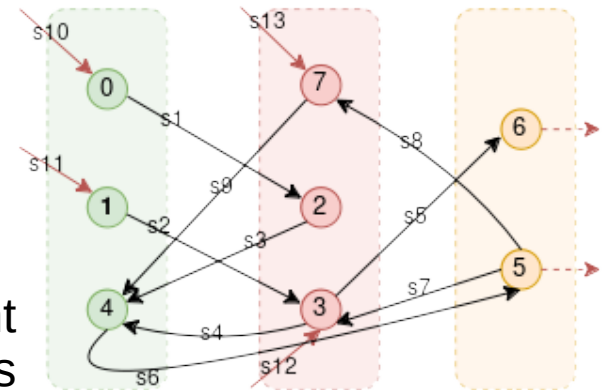
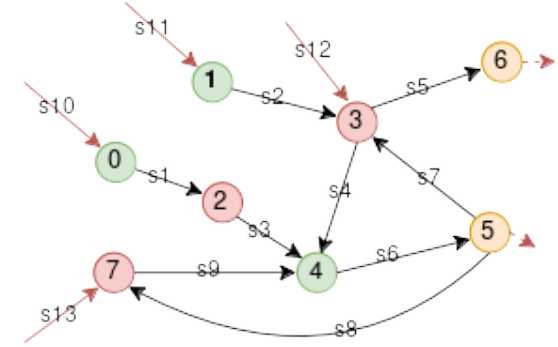
↳ Et $28 \ll 1\,000\,000$ neurones !!! ↳ Irréaliste ...
↳ Multiplexage temporel !

Génération automatique d'architectures matérielles de Réseaux de Neurones



Algorithme de coloriage de graphe

(Stage master 2 financé par Artefact en 2021)



```
Specifications
File .gln

--Name <file_name> - NEURONS : <#neurons> - SYNAPSES : <#synapses>
Name NNExample : NEURONS : 8 : SYNAPSES : 13:

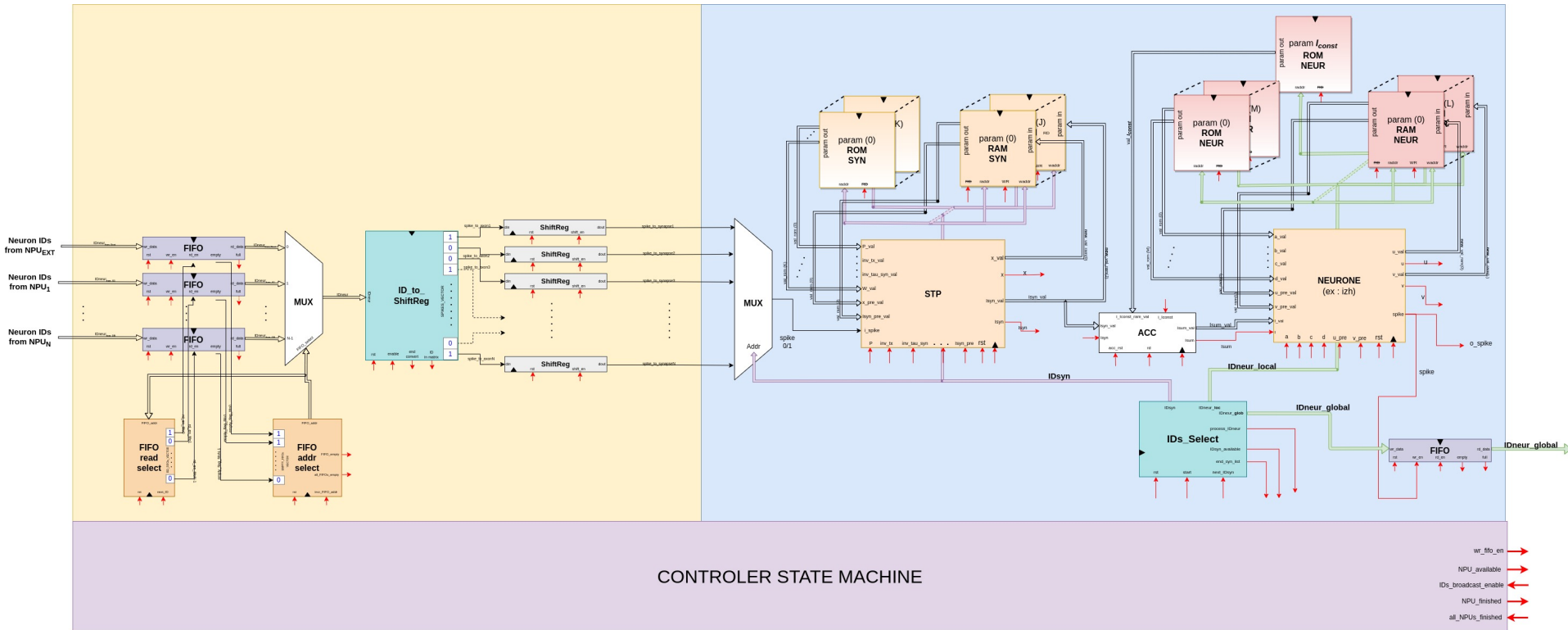
NEURONS :
-- type : <ax> <tb> <cp> <cb> <#cores> <#u_init> <#v_init>
IZH : 0.02 : 0.2 : -50.0 : 2.0 : 10.0 : -10.0 : -50.0, -- neuron 0
IZH : 0.02 : 0.2 : -50.0 : 2.0 : 10.0 : -10.0 : -50.0, -- neuron 1
IZH : 0.02 : 0.2 : -50.0 : 2.0 : 10.0 : -10.0 : -50.0, -- neuron 2
IZH : 0.02 : 0.2 : -50.0 : 2.0 : 10.0 : -10.0 : -50.0, -- neuron 3
IZH : 0.02 : 0.2 : -50.0 : 2.0 : 10.0 : -10.0 : -50.0, -- neuron 4
IZH : 0.02 : 0.2 : -50.0 : 2.0 : 10.0 : -10.0 : -50.0, -- neuron 5
IZH : 0.02 : 0.2 : -50.0 : 2.0 : 10.0 : -10.0 : -50.0, -- neuron 6
IZH : 0.02 : 0.2 : -50.0 : 2.0 : 10.0 : -10.0 : -50.0, -- neuron 7

SYNAPSES :
-- <n_pre> : <n_post> <P> <#w_t_x> <#w_tau_syn> <#W_init> <#Xsyn_init> <#delay>
STP : 0 : 2 : 0.1 : 0.11 : 1.7 : -1.9 : 1, --s0-2 (s1)
STP : 1 : 3 : 0.1 : 0.12 : 1.7 : -1.9 : 2, --s1-3 (s2)
STP : 2 : 4 : 0.1 : 0.09 : 1.7 : -1.9 : 1, --s2-4 (s3)
STP : 3 : 4 : 0.1 : 0.09 : 1.7 : -1.9 : 2, --s3-4 (s4)
STP : 3 : 6 : 0.1 : 0.09 : 1.7 : -1.9 : 3, --s3-6 (s5)
STP : 4 : 5 : 0.2 : 0.09 : 1.7 : -1.9 : 2, --s4-5 (s6)
STP : 5 : 3 : 0.3 : 0.09 : 1.7 : -1.9 : 3, --s5-3 (s7)
STP : 5 : 7 : 0.3 : 0.09 : 1.7 : -1.9 : 4, --s5-7 (s8)
STP : 7 : 4 : 0.3 : 0.09 : 1.7 : -1.9 : 3, --s7-4 (s9)
STP : 8 : 0 : 0.3 : 0.09 : 1.7 : -1.9 : 4, --sEXT-0 (s10)
STP : 9 : 1 : 0.3 : 0.09 : 1.7 : -1.9 : 4, --sEXT-1 (s11)
STP : 10 : 3 : 0.3 : 0.09 : 1.7 : -1.9 : 3, --sEXT-3 (s12)
STP : 11 : 7 : 0.3 : 0.09 : 1.7 : -1.9 : 2, --sEXT-7 (s13)
```

Spécification du réseau

Regroupement des neurones

Génération automatique d'architectures matérielles de Réseaux de Neurones



Architecture d'un NPU proposée par M. Rasamuel pour sa thèse de Doctorat

Génération automatique d'architectures matérielles de Réseaux de Neurones

NPU1 connectivity

POST	0	1	4
PRE			
2			s3
3			s4
7			s9
Ext	s10		
Ext		s11	

NPU2 connectivity

POST	2	3	7
PRE			
0	s1		
1	s2		
5	s7	s8	
Ext	s12		
Ext			s13

NPU3 connectivity

POST	5	6
PRE		
3		s5
4	s6	

NPU1 infos

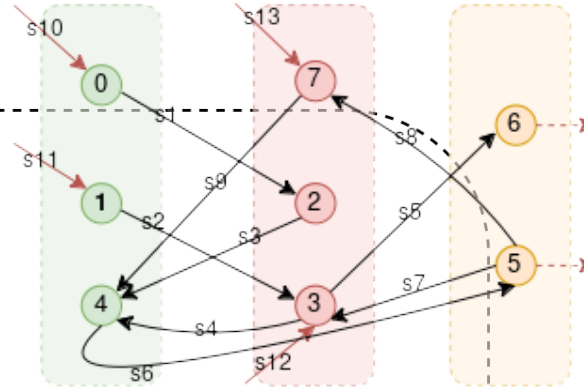
ID number = 1
 #Incom. Synapses = 5
 #Ext. synapses = 2
 #Neurons = 3
 #Pre Neurons = 3

NPU2 infos

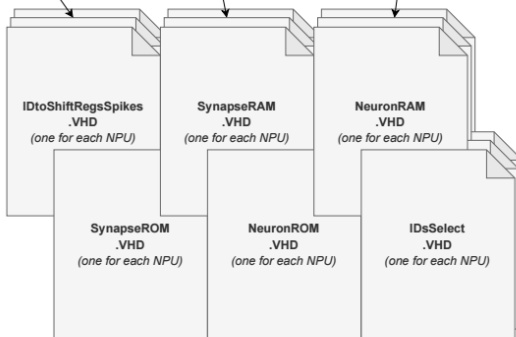
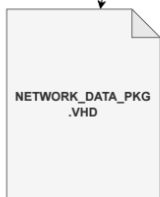
ID number = 2
 #Incom. Synapses = 6
 #Ext. synapses = 2
 #Neurons = 3
 #Pre Neurons = 3

NPU3 infos

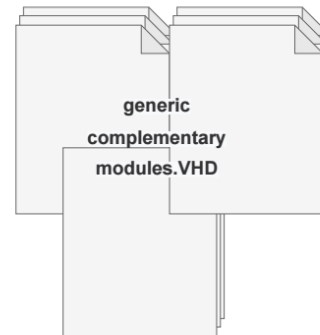
ID number = 3
 #Incom. Synapses = 2
 #Ext. synapses = 0
 #Neurons = 2
 #Pre Neurons = 2



Évolution en cours de genlenet pour générer toutes les tables et les fichiers vhd



+

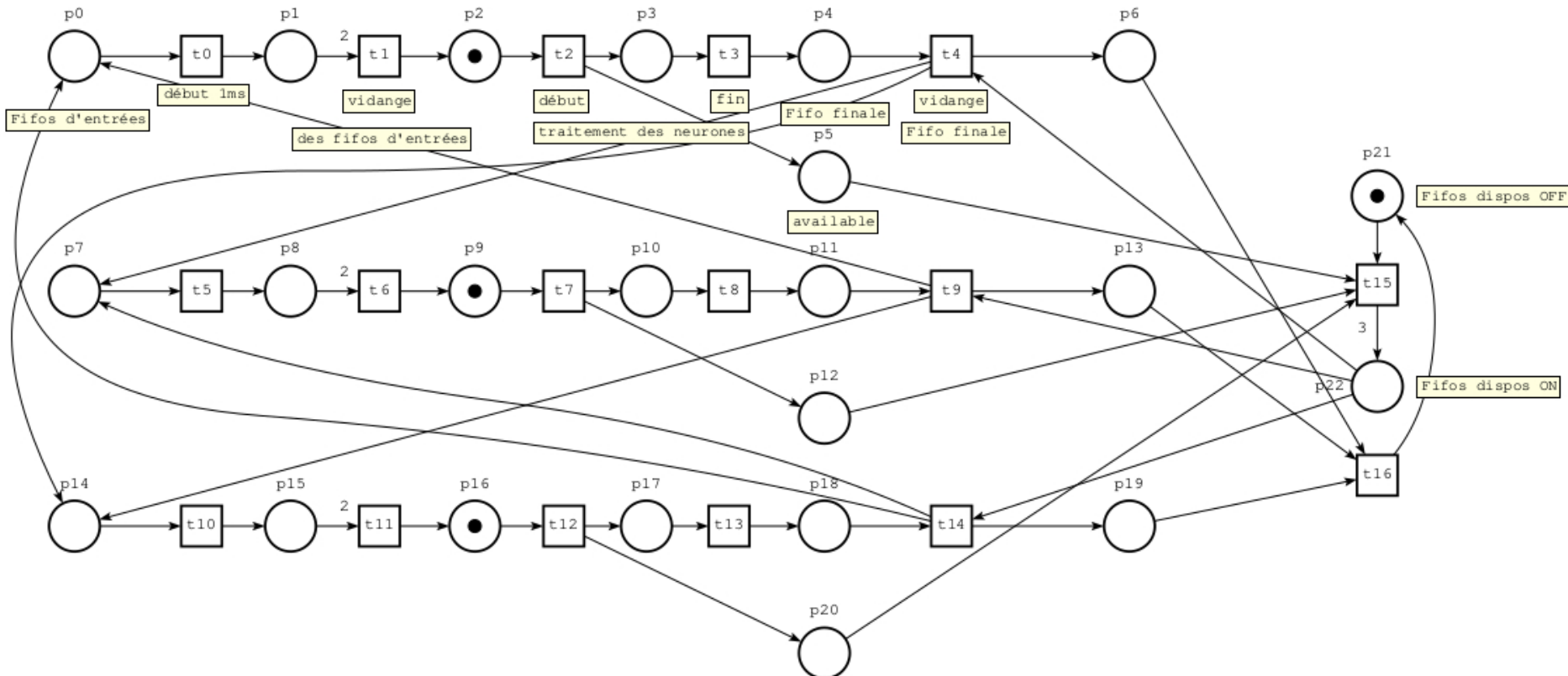


Génération automatique d'architectures matérielles de Réseaux de Neurones

Démonstrations formelles par Réseaux de Petri (logiciel Tina) :

➡ les NPU ne tombent jamais **en interblocage**

➡ les FiFos d'entrées **ne saturent jamais**



Cas de 3 NPUs concurrents

Conclusions relatives au WP3

- ➔ Différents modèles synchrones de neurones et de synapses opérationnels
 - preuves formelles de comportement possibles uniquement sur de très petits réseaux
- ➔ Expérimentations hybrides biologiques/matérielles n'ont pas pu être menées au bout :
 - au Japon : culture biologique morte avant les essais
 - ➔ autres missions au Japon annulées à cause du Covid
 - localement : boucle temps-réel pour le moment impossible
- ➔ Chaîne complète de générations d'architectures de Réseaux de Neurones opérationnelle via l'approche synchrone
 - mais limitée très rapidement en taille
 - ➔ Génération automatique d'architectures dédiées actuellement en cours

Conclusions globales et perspectives

➔ Les points négatifs :

- WP1 : expérimentations non terminées
- WP2 : prototype encore en phase de stabilisation ?
- WP3 : hybridation biologie/matériel non encore opérationnelle

Et globalement peu de publications ... (une sur WP3)

M. Rasamuel, D. Gaffé, T. Levi, B. Miramond. "Synchronous Approach for Modeling Spiking Neurons", 2019 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BIOCAS 2019), Nara, Japan, October 17-19, 2019.

➔ Les points positifs :

- WP1 : expérimentations sans aucune mauvaise surprise et conception d'un logiciel de supervision
- WP2 : Premier exemple de conception intégrant les utilisateurs dès le début du processus
- WP3 : Chaîne complète de générations d'architectures de Réseaux de Neurones opérationnelle, preuves formelles limitées mais existantes !

Conclusions globales et perspectives

➔ Perspectives :

- WP1 : nouveaux déploiement en utilisant un ou plusieurs réseaux privés
- WP2 : Renouveler la conception d'un système (prothèse) en intégrant l'utilisateur final dès le début de la conception
- WP3 :

➔ A très court terme :

- Génération automatique de l'architecture dédiée à terminer (intégration stage master 2)
- Plusieurs travaux à publier !
- Soutenance de thèse de Marino Rasamuel

➔ A plus long terme :

- Projet LEAT - LJAD de conception d'une chaîne d'hybridation temps-réel biologique/matériel
- Soumission du projet ANR SAINBIOZE en 2021 et 2022 sur limitations expérimentales d'hybridation ➔ 2023



ARTEFACT

Merci de votre attention

1 publi IEEE BioCAS 2020

3 tutorats DS4H

1 stage en entreprise (Korka) + 1 stage labo (Yassine)

1 Dispositif de géolocalisation autonome

1 Prototype de lunettes connectées

Nouveaux logiciels développés + 1 nouvelle architecture neuromorphique

1 rapport d'expérimentations d'un dispositif de suppléance pour personnes malvoyants

1 dépôt de projet ANR