

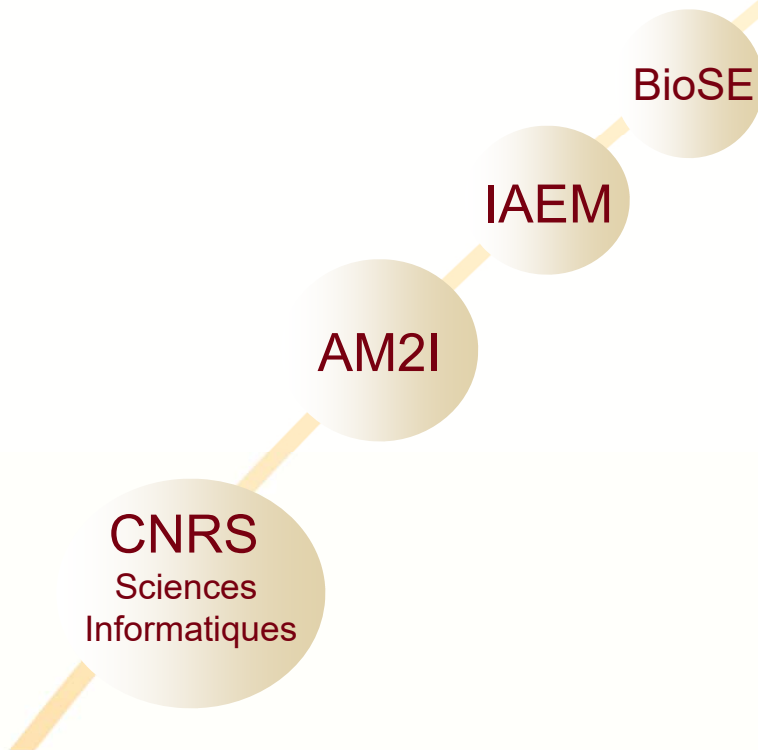
Valorisation d'une recherche en traitement d'images : création d'une start-up dédiée à la conception de dispositifs médicaux.

CHRISTIAN DAUL ET CARSTEN MÜLLER

Plan

1. Contexte médical et scientifique
2. Etapes de la valorisation
3. Start-up : avant (un peu) et depuis création

→ 15' de discussion



QUI SOMMES NOUS ?

C **Christian DAUL** (le rêveur inconscient)

- Professeur des universités (université de Lorraine)
- Enseignant à l'Ecole Européenne d'Ingénieurs en Génie des Matériaux
- Chercheur au CRAN (UMR 7039, CNRS/UL)
- Traitement d'images médicales depuis 26 ans.



C **Carsten Müller** (le pragmatique indispensable aux rêveurs)

- Ingénieur bioprocédés de formation
- Fondateur et CEO d'une start-up universitaire
- Dirigeant d'équipes de R&D dans des entreprises internationales



telendo

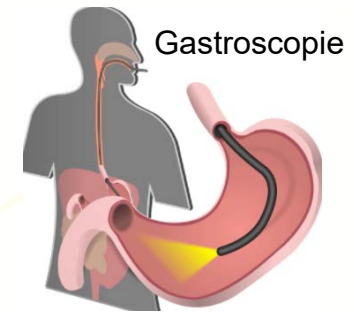


PARTIE 1 : CONTEXTE MÉDICAL, DÉFIS SCIENTIFIQUES

CONTEXTE MÉDICAL

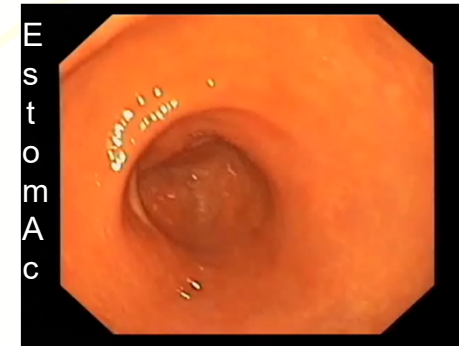
- Endoscopie

- Examen de référence pour l'observation des parois épithéliales internes des organes creux.
- Images haute résolution avec des couleurs et textures naturelles.



- Gastroscopie

- Inflammations chroniques : ulcères, cancers
- Monde : 750,000 morts/an (dû au cancer)
- France : 9000 nouveaux cas de cancers/an, 4500 décès/an.

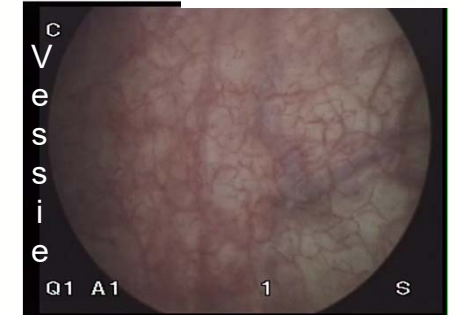


Cystoscopie



- Cystoscopie

- Inflammations chroniques, polypes, cancers
- Monde : 2.7 millions de cancers/an
- France : 12 000 nouveaux cas de cancers/an, 4500 morts/an.

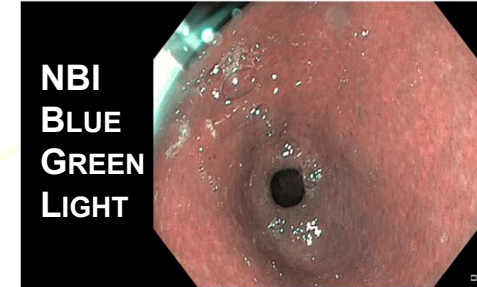
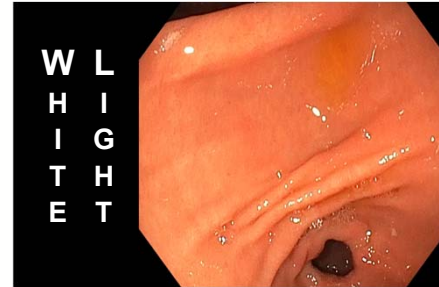


- Modalité d'images incontournable avec des limites

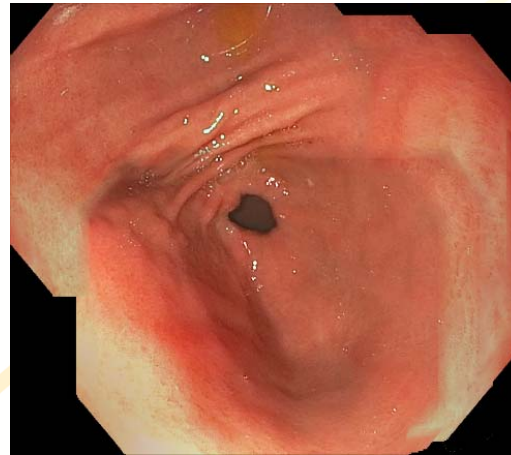
- *Petit champ de vue 2D: vue partielle des lésions, références anatomiques non visibles.*
Diagnostic difficile, navigation compliquée dans l'organe, scan complet de l'organe non garanti.
- *Vidéos rarement archivées car difficiles à interpréter après l'examen.*
Pas de 2^{ème} diagnostic, pas de suivi de l'évolution des lésions, pas de support d'échange d'informations

SOLUTION : CHAMPS DE VUE ÉTENDUS PAR CARTOGRAPHIE.

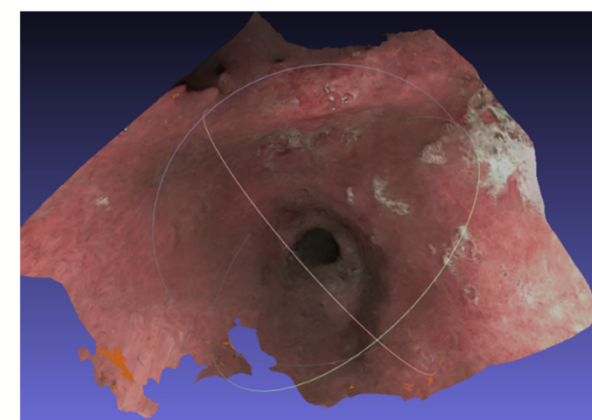
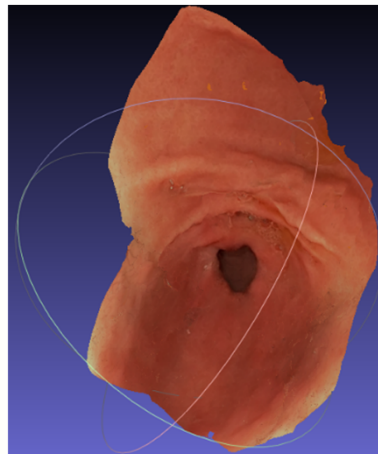
- Exemple en gastroscopie
 - Lumière blanche (scène naturelle)
 - Imagerie à bande étroite (lumière verte/bleue, détection précoce des inflammations).



- Mosaïques (cartes) 2D pour un usage en temps réel.



- Mosaïques 3D, après la gastroscopie, complémentaires aux cartes 2D.



PRINCIPE DE LA CARTOGRAPHIE

- **2D** : images à champ de vue réduit $f(x, y, \underline{t})$ → image panoramique = mosaïque $m(x,y)$

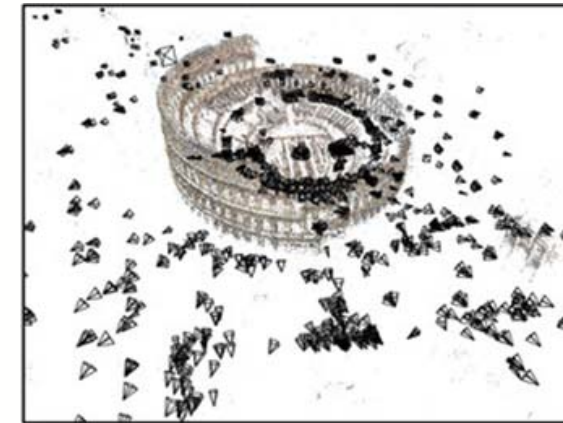


Images acquises à partir de différents points de vue



- **3D**: images à champ de vue réduit $f(x, y, \underline{t})$ → surfaces étendues → cartes $m(x,y,z)$

Images acquises à partir de différents points de vue



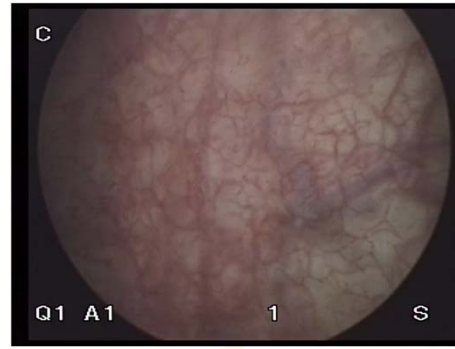
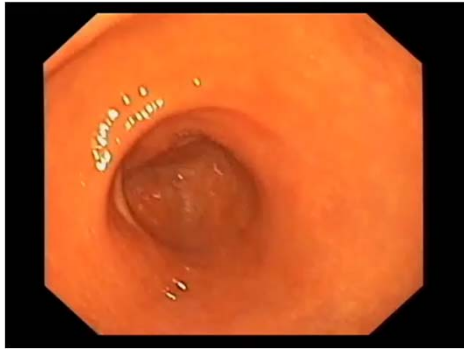
Principe général :

- Trouver les informations communes dans les images
- Déterminer des déplacements (par exemple du contenu dans les images 2D, ou le mouvement 3D de la caméra)
- Construire des scènes sans distorsions géométriques ni discontinuités de couleurs.

Solutions existantes pour :

- Images avec un contenu riche
- Conditions d'acquisitions contrôlées
- Conditions d'illumination constantes

DÉFIS DE LA CARTOGRAPHIE 2D ET 3D EN ENDOSCOPIE



Textures/ structures	Manquantes presque partout dans l'image.	Manquantes dans certaines régions de l'image ou plus ou moins prononcées.	Information riche présente partout
Illumination de la scène	Fortement dépendante du point de vue, réflexions, <i>etc.</i>	Fortement dépendante du point de vue, objets flottants, <i>etc.</i>	Plutôt bien contrôlée
Contrôle de la trajectoire de la caméra	Difficile	Difficile	Points de vue optimaux

C Deux défis à relever au niveau de l'image, pour cartographie 2D et 3D :

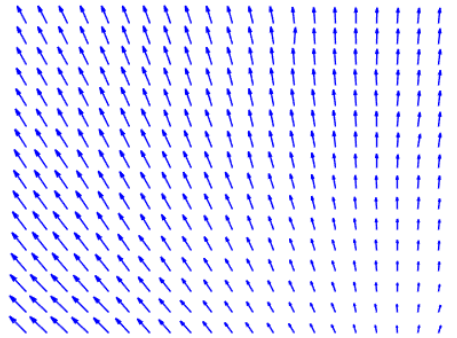
- Trouver de façon robuste de très nombreux points homologues de paires d'images contenant très peu d'information (textures) sous un éclairage qui change beaucoup.
- Sélectionner dans les vidéos-séquences les images qui minimisent les distorsions géométriques, les discontinuités de couleur et les trous dans les surfaces reconstruites.

UN DES RÉSULTATS SCIENTIFIQUES

Target image I_t



Dense vector field u



Source image I_s

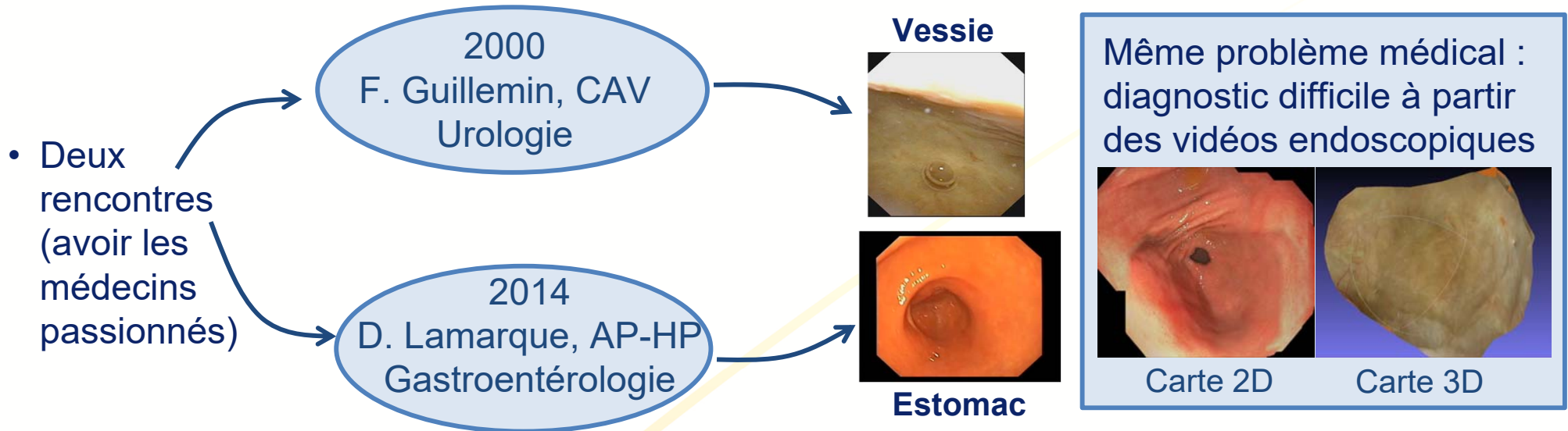


$$E(I_s, I_t, u) = \int_{x \in \Omega} \underbrace{E_d(I_s(x), I_t(x + u_x))}_{\text{Image similarity (illumination invariant)}} d\Omega + \lambda \int_{x \in \Omega} \underbrace{\omega_x \|\nabla u_x\|_1}_{\text{Smoothness of the vector field}} d\Omega \quad (\Omega = I_s \cap I_t)$$



PARTIE 2 : CHEMIN DE LA VALORISATION

C CONDITIONS/MOTIVATIONS POUR DÉMARRER UN TRANSFERT



- Un fil conducteur pour 20 ans de recherche (thématique de recherche qui dure).

Cartographie 2D

Cartographie 3D

Sujets scientifiques

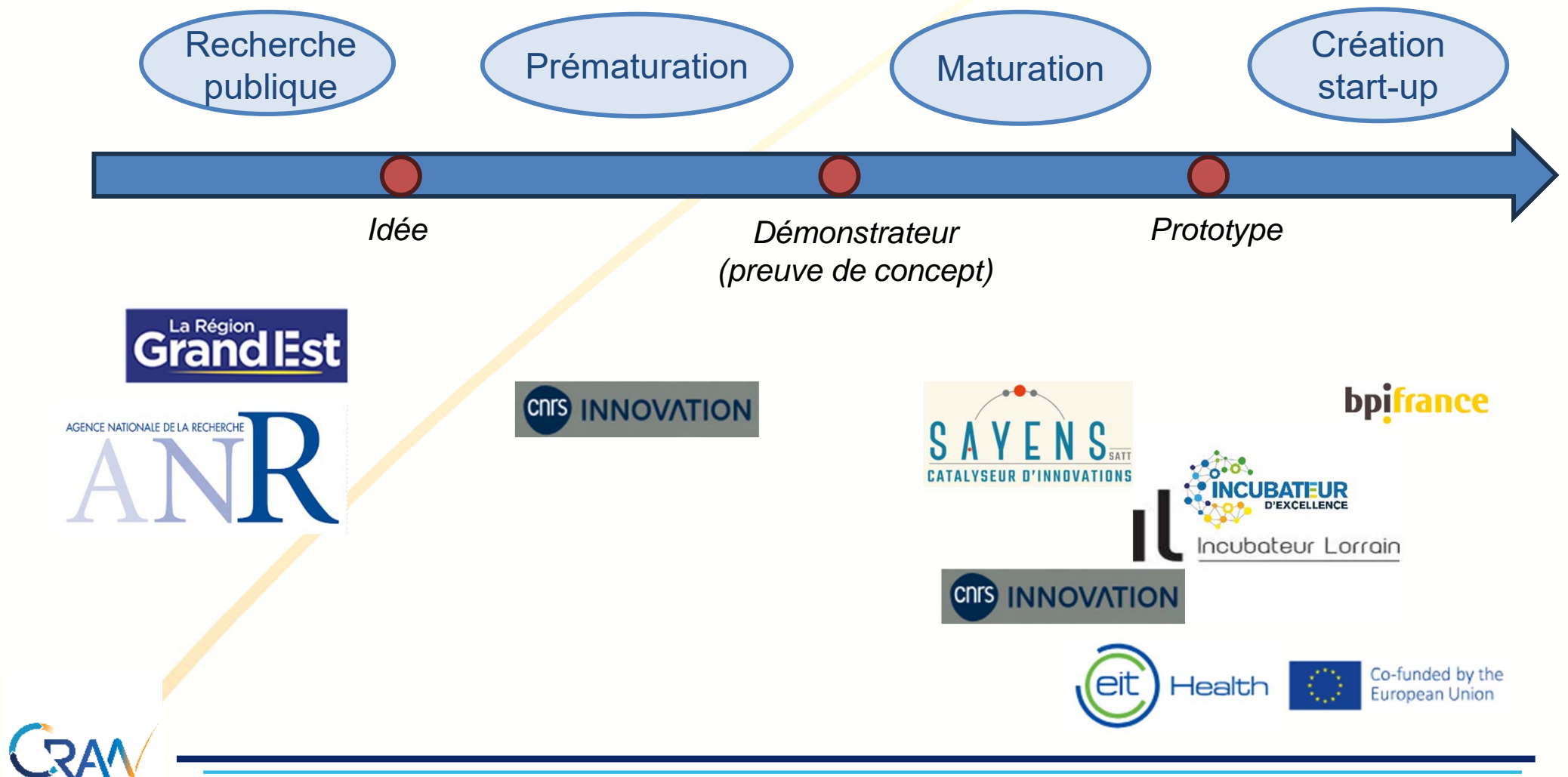
- Différents algorithmes de recalage (flot optique, graph-cut, etc.)
- Vision active (Cartes 3D)
- Vision 3D passive (SfM)
- IA : prédiction cartes de profondeurs, Nerf, ...

- Valorisation

→ 8 thèses, 12 journaux internationaux, 25 conférences internationales, etc.

→ **1 brevet**

ÉTAPES DU TRANSFERT



ETAPE 1 : RECHERCHE PUBLIQUE

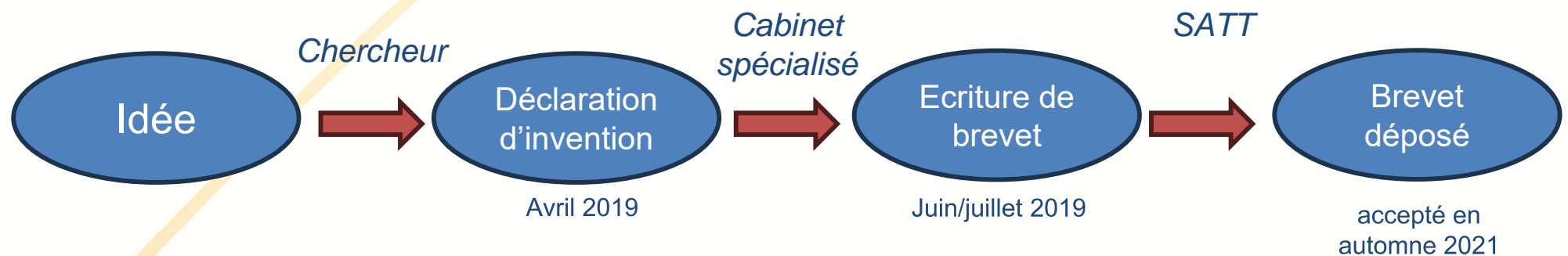
C ANR EMMIE, 2016-2019, 174 k€

- Endoscopie multimodale pour les inflammations de l'estomac.
- UL (CRAN), Université de Bourgogne (ImVia), Institut Pasteur, AP-HP.
- Principaux résultats : publications, logiciel de cartographie niveau TRL 2 **et un brevet**

C Deux voies de valorisation, non-exclusives

- Articles : valorisation à court terme (\approx quelques mois)
- Les brevets : valorisation à moyen/long terme (\approx 2 ans)

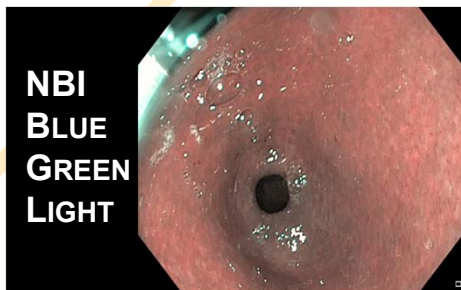
C Cycle de brevet (SATT)



ETAPE 1 : RÉSULTATS ET VALORISATION

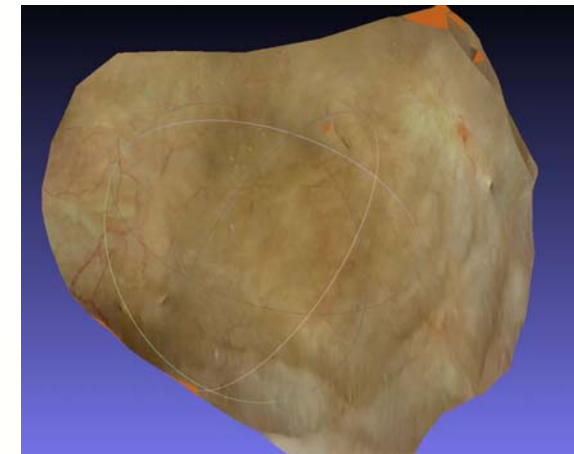
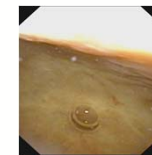
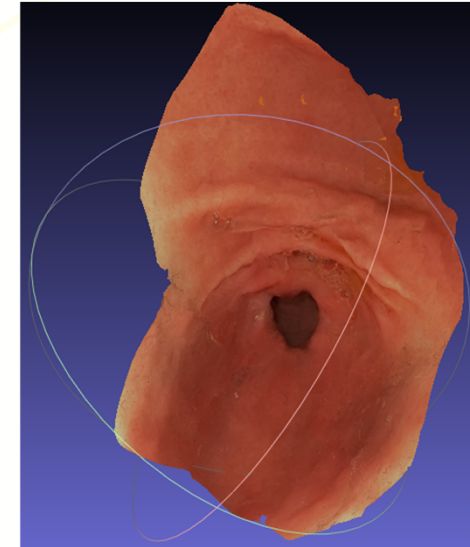
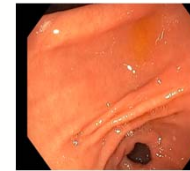
- **Cartographie 2D**

- *Travail avec un post-doc*
- **Brevet puis publication** (après dépôt)



- **Cartographie 3D**

- *Travail avec un thésard*
- Pas de brevet (publication rapide)



ÉTAPE 2 : LA PRÉMATURATION – OBJECTIFS

C Objectif

- Passer d'un résultat scientifique à un démonstrateur qui fait office de preuve de concept.

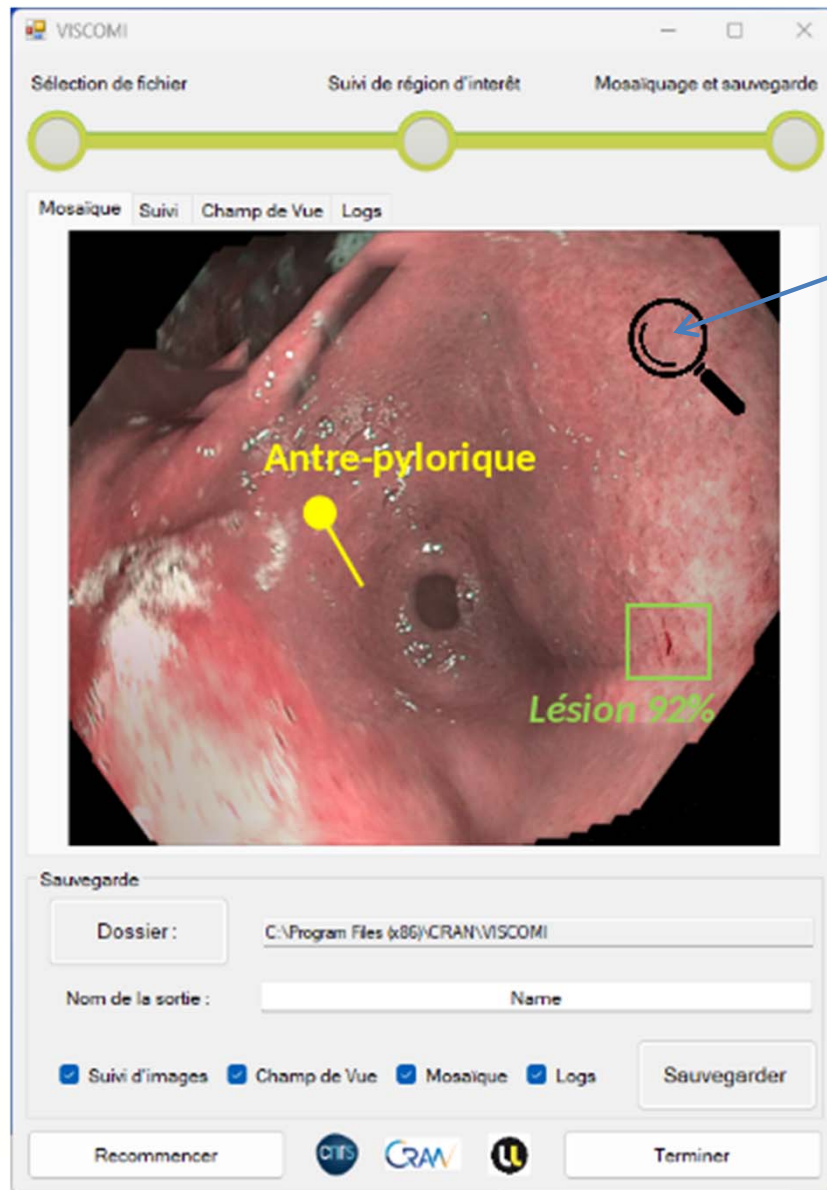
C Acteurs et moyens

- CNRS Innovation
- Sélection en trois étapes : Institut, CNRS puis COPIL du CNRS.

C Notre exemple (Clément Fauvel, IR, rejoint le projet à ce stade)

- Projet VISCOMI, 2021-2023, 120,5 k€
- Visualisation de scènes complexes par mosaïquage d'images
- Recrutement d'un informaticien (Télécom Nancy)
- Résultat : logiciel de cartographie, niveau TRL 4/5

ÉTAPE 2 : LA PRÉMATURATION – EN RÉSULTAT



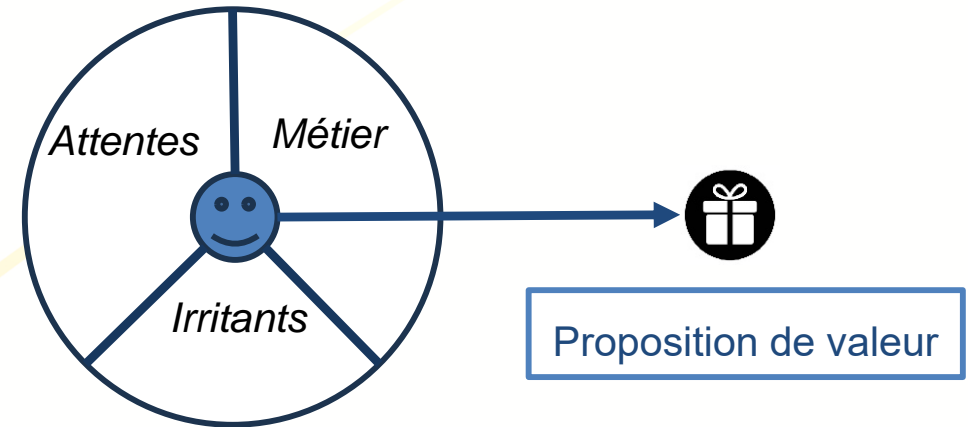
- Principaux résultats
 - Logiciel de cartographie, niveau TRL 4/5
 - Modules IA non intégrés : super-résolution, classifieurs, etc.
- Acteurs : C. Daul, C. Fauvel, Théo Courtade (recrutement) Dinh Hoan Trinh (contrat de collaboration)

ETAPE 3 : LA MATURATION – OBJECTIFS

Technologique :

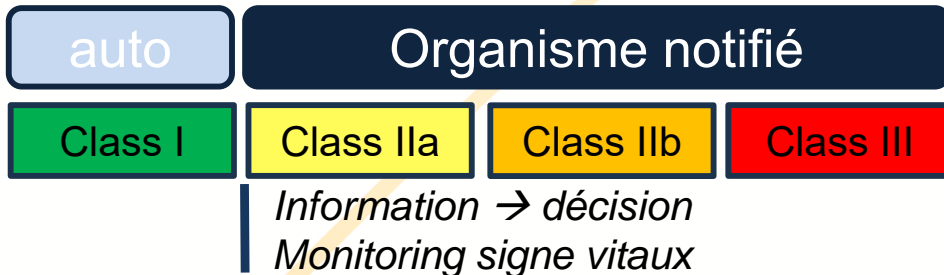
- 5 Prototype env. contrôlé
- 6 Test environnement réel
- 7 Stade pré-commercial

Modèle Economique :



Réglementaire & Norme:

- Marquage CE – EU MDR 2017/745



Propriété intellectuelle

- Renforcer le brevet
- Puis-je exploiter librement mon brevet (FTO) ?

Systeme Manage Qualité – ISO 13485

ETAPE 3 : LA MATURATION – MOYENS

La Maturation : une étape complexe, il est important de s'entourer tôt

Acteurs



Accompagnement

*Recherche porteur projet
(dirigeant – CEO)*

Réseau & formation

Conseil

Financement

*Projet Maturation
(220k€)*

*Bourse French Tech Lab
(120k€ - non technique)*

*Programme Deep Tech Venture Builder
(DTVVB)*

ETAPE 4 : JUSTE AVANT LA FONDATION



Pacte entre
co-fondateurs



Financement
d'une société



Accord avec
la SATT
(*Term Sheet*)

C **Loi Pacte : un soutien de l'université & des laboratoires**

- C Concours scientifique : 20% à 50% du temps – gratuité de 1 an
- C Dirigeant : mise à disposition à 100%

C **Hébergement facilité**

Processus Long (commission déontologique)

PARTIE 3 : LA START-UP

TELENDO

Equipe fondatrice



C. Müller
(CEO)



Clément Fauvel
(CTO)



Christian Daul (PU)
(Conseil Scientifique)



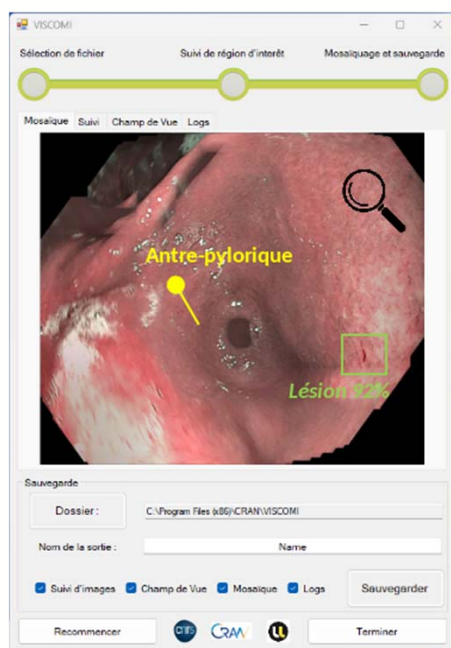
D. Lamarque (PUPH)
(Conseil Scientifique)

Point de départ de la création:

une combinaison équilibrée des compétences de l'équipe fondatrice, réunissant des expertises technologiques, médicales et business.

LE POINT DE DÉPART: TECHNOLOGIE PRÊTE...VRAIMENT ?

Université



Industrie



Technologie scientifiquement validée...

- Publications ✓
- Prototype Matlab / Python ✓
- Démonstration en environnement contrôlé ✓

... mais pas encore “industrialisable”.

- Risques multiples non considérés
- Utilisateur non intégré
- Normes à appliquer non respectée
- *etc.*

... le gap invisible entre le résultats issu du labo et le produit est immense.

CRÉER UNE START-UP, C'EST CHANGER DE POSTURE

Université



Industrie



Une technologie

Un papier

Une invention

Un prototype

Explorer

Prouver

Publier



Un produit

Une validation clinique

Une entreprise

Un dispositif médical certifié

Prioriser

Certifier

Vendre



AVANT ET APRÈS CRÉATION: DÉRISQUER !

De nombreux risques existe qu'il est essentiel d'identifier et de réduire continuellement

Risques Produit & Technologiques

- Ne fonctionne pas en conditions réelles
- Performances IA insuffisantes
- Code non maintenable

Prototypes terrain tôt
Donnés suffisantes
V-Model rigoureux



Risques Marché & Adoption

- Pas de product market fit
- Long cycle de vente
- Résistance d'adoption

Design Thinking
Anticiper Up-selling
KOL opinion shaping



Risques Réglementaires & Qualité

- Longe durée de certification
- Notified body indisponible
- Problèmes RGPD, Cyber, ...

Stratégie alternative
Contact très tôt
Bon consultant



Risques Propriété Intellectuelle

- Bloqué par un autre brevet
- Protection pas suffisante
- Désaccord sur la valorisation

Analyse FTO
IP-Wall
Négociation intensive



AVANT ET APRÈS CRÉATION: DÉRISQUER !

Risques Financiers

- Levée échoue ou trop tard
- Dilution excessive
- Mauvais pricing

Lever quand pas besoin
Lever avec fond publiques
Value pricing



Risques Équipe & Organisation

- Recrutements trop longs
- Manque d'expertise
- Mauvais recrutement

Anticiper et prioriser
Advisory board
Utiliser temps d'essai



Risques Concurrentiels & Stratégiques

- Copie par big player
- Guerre des prix
- Apparition concurrence

Stratégie IP forte
Valeur unique
Veille constante



Risques Opérationnels

- Accès aux données
- Pas de remboursement Sécu
- Retards projets

Approche Multi Hospitalier
Négociations précoces
Project Management solide



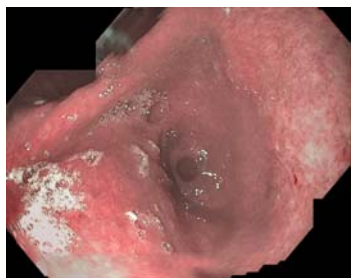
UN EXEMPLE POUR VOUS DÉGOUTER: LE RÈGLEMENTAIRE

Les normes les plus pertinentes à respecter:

- ISO 13485 SQM dispositifs médicaux
- ISO 14971 Risk Management DM
- ISO 62304 Life Cycle Logiciels DM
- ISO 82394 Cybersécurité logiciels santé
- UE 2017/745 Medical Device Regulation
- UE 2016/679 RGPD
- IEC 62366-1 Human factor engineering DM
- IEC 60601-1-11 Appareils électromédicaux
- UE 2019/881 Cybersécurité
- ISO 27001/27701 Sécurité données patient
- ISO 42001 Système de management de l'intelligence artificielle
- UE 2024/1689 IA Act: Règlement sur l'IA

LES PIVOTS STRATÉGIQUES (TRÈS IMPORTANT)

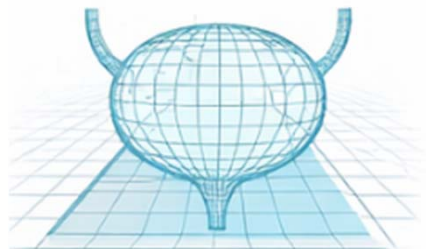
Valoriser = accepter d'adapter la vision scientifique



Focus initial: Reconstruction 2D/3D de l'estomac pour meilleure visibilité et suivi patient

Licence de base: Mosaïquage

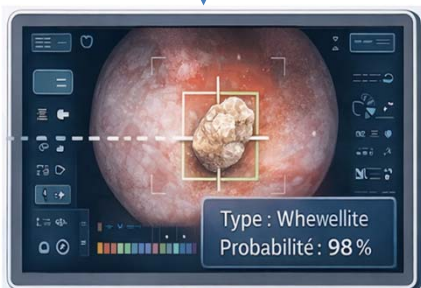
Marché gastroentérologie trop difficile et grande domination d'Olympus



Pivot sur le marché de l'urologie, car marché plus accessible

Intégration de la détection et caractérisation de lésion/cancer

Développement trop long et métier de l'urologue plus large



Focus primaire: Agent IA pour la détection et l'identification du type des calculs rénaux => Premier module d'un outil urologique holistique

Premier produit plus de lien avec technologie licencié

Ce n'est pas la technologie qui dicte la stratégie produit, mais le marché

CONCLUSION DU CHERCHEUR

- C **Un point fort scientifique n'est pas un produit à succès**
 - Adaptation nécessaire au regard des utilisateurs
 - Compétition féroce – brouillard de la concurrence
 - Savoir « pivoter » et avancer vite
- C **Savoir s'entourer de bons acteurs au bon moment**
- C **Expérience gratifiante – quelle que soit la fonction**
 - rencontre d'acteurs avec des visions nouvelles
 - nouvelles compétences

... ET DE L'ENTREPRENEUR

- C Une technologie prometteuse n'est **qu'un point de départ.**
- C Entre le premier algorithme en laboratoire et le premier patient bénéficiant d'un dispositif certifié, il y a 5 à 15 ans de transformation profonde.

CONVICTION PERSONNELLE

- Une carrière de chercheur dans le traitement d'images médicales n'a pas de sens sans aucun **essai de transfert**

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

