

Synthèse des travaux préparatoires à une demande FNS

ReaCH-3DXs (XR-LearnEnv)

Financé et approuvé par le Rectorat en décembre 2024

Sous la supervision de

Prof. Stéphane Gobron (HE-Arc, Neuchâtel)

et

Prof. Bruno Therrien

Projet XR-LearnEnv – travaux préparatoires

Travaux effectués par Thierry Flück et Ivan Serra-Moncadas (HE-Arc, NE)

A noter : projet anciennement nommé Reach_3DXs | Dossier BRIDGE Discovery

Finalité du rapport

Ce rapport rassemble les éléments importants du travail réalisé conjointement par Thierry Flück et Ivan Serra-Moncadas. Il porte en particulier sur deux volets préparatoires essentiels du projet XR-LearnEnv :

- Une analyse structurée de l'état de l'art des laboratoires virtuels et solutions immersives dédiées à la chimie ;
- Des essais techniques de simulation et d'interaction XR portant sur les gestes, les liquides, la chauffe et les tests de flamme.

Synthèse exécutive

Intention générale en base technique argumentée. Le benchmark a permis de comparer les solutions existantes selon sept critères homogènes. Les prototypes ont ensuite démontré la faisabilité de quatre briques particulièrement exigeantes. Ensemble, ces résultats ont soutenu le positionnement différenciant du projet, son périmètre de recherche et sa crédibilité technologique.

Résultats principaux

7 solutions recensées Cinq plateformes comparées en profondeur et deux ressources adjacentes documentées.	7 axes de comparaison XR, pédagogie, réalisme chimique, publics, interactions, liberté expérimentale et assistance.
4 familles de prototypes Interaction haptique, mélange de liquides, chauffe d'un liquide et visualisation de flammes.	1 positionnement clarifié Une plateforme tri-sensorielle, orientée enseignants et cohérente avec les gestes du laboratoire.

Périmètre d'attribution

Il est à noter que le dossier soumis ne cite pas nominativement ces deux ingénieurs dans les passages concernés. L'attribution présentée ici reprend l'information fournie par le responsable du projet. Le travail est décrit comme une contribution conjointe, sans répartir chaque sous-tâche entre les deux personnes.

1. Analyse de l'état de l'art

Le travail de veille ne s'est pas limité à dresser une liste de produits. Il a construit un cadre de décision pour identifier les fonctions déjà disponibles, les lacunes persistantes et les sujets nécessitant une véritable recherche.

Démarche suivie

Sept solutions ou écosystèmes ont été recensés dans le dossier. Cinq plateformes ont été comparées directement à XR-LearnEnv. LabXchange et Virtual Chem Labs ont été documentés comme ressources adjacentes. Les références, versions publiques et supports disponibles ont été vérifiés avant la soumission.

Axe	Critère	Question examinée
1	Modalité XR et qualité de rendu	VR, AR ou non-XR, 3D, son, haptique et niveau graphique.
2	Dispositif pédagogique	Suivi, guidage, progression, gamification et retour à l'enseignant.
3	Réalisme chimique	Effets visuels, cohérence des réactions et comportement des liquides.
4	Public visé	Usage académique, professionnel ou niveau d'enseignement ciblé.
5	Modalités d'interaction	Souris, clavier, mains virtuelles, gants, objets physiques et commande vocale.
6	Liberté expérimentale	Nombre d'expériences, combinaisons autorisées et caractère scripté.
7	Assistance à l'utilisateur	Messages fixes, narration linéaire, agent virtuel ou accompagnement adaptatif.

Constats transversaux

- Les offres existantes couvrent des fonctions partielles, mais rarement leur intégration cohérente ;
- Plusieurs laboratoires restent fortement scénarisés et limitent les mélanges à un nombre connu de réactions ;
- La cohérence chimique des liquides et des transformations demeure souvent approximative ou non documentée ;
- Les interactions reposent surtout sur la souris ou des mains artificielles, avec peu d'objets physiques suivis ;
- Le guidage pédagogique est fréquemment linéaire, sans adaptation au geste (erreur ou contexte) ;
- L'appropriation par l'enseignant, la configurabilité et les contraintes réelles de classe sont peu couvertes.

Conclusion du benchmark

Le principal manque n'est pas une fonction isolée. Il réside dans l'intégration de gestes plausibles, de réactions visuellement cohérentes, d'objets physiques, de traces d'apprentissage et d'un guidage adaptable dans un dispositif réellement déployable.

Positionnement des solutions examinées

Le tableau suivant restitue les éléments les plus utiles à la décision. Il distingue les qualités observées des limites qui ont justifié le positionnement de XR-LearnEnv.

Solution	Apports observés	Limites ou écart identifié
Unreal Chemist	Application mobile 2D, rendus réalistes, notation par étoiles, plus de 800 simulations annoncées.	Pas de XR, interaction tactile uniquement, assistance et suivi enseignant non documentés.
VR Learning	Environnement VR 3D, mains artificielles, séquences procédurales.	Quatre réactions, absence de vérification réelle des mélanges, faible cohérence chimique et sonore.
VR Chemistry LAB	Plus de 30 expériences, observation des réactions, carnet de progression en VR.	Possibilités de mélange prédéfinies, liquides peu cohérents, messages de guidage fixes.
Labster	Missions structurées, checklist, score et positionnement éducatif clair.	Interaction à la souris, réalisme limité, narration robotisée linéaire, liberté de mélange non documentée.
VictoryXR	Approche AR et interaction par mains artificielles.	Rendu 3D et sonore limité, simulation des liquides insuffisante, aucune expérimentation libre observée.
LabXchange	Plateforme active et utile pour l'accès à des contenus et activités scientifiques.	Rôle adjacent. Les sources ouvertes ne démontrent pas une interaction tri-sensorielle avec objets physiques.
Virtual Chem Labs	Ressources et ateliers de laboratoire virtuel disponibles publiquement.	Rôle adjacent. Les fonctions XR, haptiques et d'assistance contextuelle sont peu établies dans les sources examinées.
Cible XR-LearnEnv	Rendu avancé, son spatialisé, objets physiques suivis, mains gantées, commande vocale, agents IA et douze expériences représentatives.	Les fonctions les plus différenciantes demandent encore de la recherche, de l'intégration et une validation pédagogique.

Lecture stratégique

Le benchmark montre que XR-LearnEnv ne devait pas chercher à battre les concurrents sur le seul nombre d'expériences. Sa valeur repose plutôt sur la qualité de l'intégration. Le projet vise une continuité entre geste réel, objet physique, jumeau numérique, effet chimique, feedback pédagogique et suivi par l'enseignant.

Cette analyse a donc fourni une justification concrète aux choix de conception. Elle a également aidé à séparer les fonctions déjà matures, relevant de la R&D appliquée, des éléments nécessitant une recherche plus exploratoire.

2. Essais et simulations de chimie

Les essais réalisés ont couvert quatre familles de difficultés techniques. Ils constituent des preuves de faisabilité et non un laboratoire complet. Leur objectif était de vérifier la cohérence entre manipulation, rendu temps réel et phénomène observable.

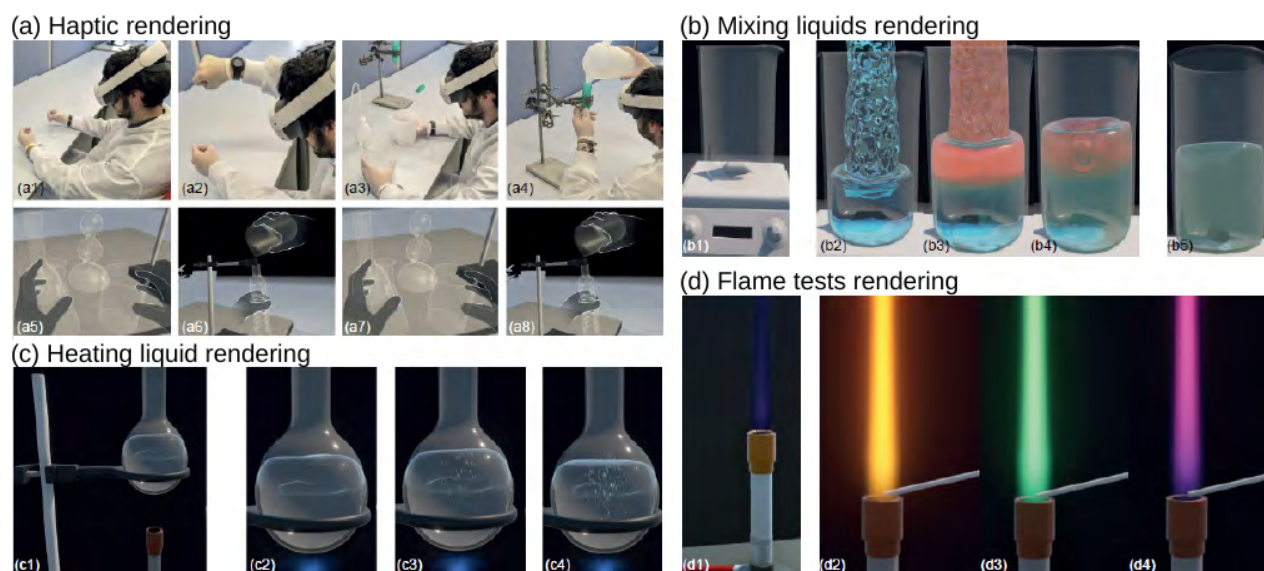


Figure 1 Essais antérieurs intégrés au dossier - interaction haptique, mélange et chauffe de liquides, tests de flamme

Brique	Réalisation	Apport technique
Interaction haptique	Manipulation d'instruments avec casque XR, suivi des mains ou accessoires et correspondance entre le geste physique et l'objet numérique.	Valider la préhension, l'orientation, le versement et la continuité entre espace réel et espace simulé.
Mélange de liquides	Rendu de liquides colorés dans différents états de superposition, d'agitation et de fusion visuelle.	Tester la lisibilité des transformations, la dynamique du mélange et la cohérence des changements observables.

Chauffe d'un liquide	Évolution visuelle d'un liquide chauffé dans un ballon, avec apparition progressive de bulles et d'activité interne.	Représenter un phénomène thermique de manière compréhensible et suffisamment plausible pour l'apprentissage.
Tests de flamme	Visualisation de flammes de couleurs distinctes associées à différents résultats expérimentaux.	Fournir un feedback immédiat, discriminant et compatible avec une procédure de reconnaissance chimique.

Principe technique retenu

Le but n'était pas de reproduire toute la physique moléculaire. Le travail visait un réalisme pédagogique suffisant. L'utilisateur doit effectuer un geste pertinent et recevoir, sans délai perceptible, un retour visuel cohérent avec l'action et la procédure.

3. Apport au projet et compétences démontrées

Les deux volets se renforcent mutuellement. L'état de l'art a identifié les lacunes du marché. Les prototypes ont montré que plusieurs réponses techniques étaient accessibles et pouvaient être intégrées dans une trajectoire de recherche crédible.

Livrables et effets directs

- Une cartographie argumentée des solutions concurrentes ou adjacentes, avec vérification des sources disponibles ;
- Une matrice de comparaison réutilisable pour le positionnement scientifique, technique et pédagogique du projet ;
- Quatre démonstrations visuelles servant de preuves de faisabilité pour les phénomènes les plus sensibles ;
- L'identification de critères de conception concrets pour les interactions, les rendus et le guidage de l'apprenant ;
- Des figures et résultats directement mobilisables dans le dossier BRIDGE Discovery et dans les échanges avec les partenaires ;
- Une réduction du risque projet grâce à la distinction entre briques maîtrisées, R&D appliquée et recherche à conduire.

Compétences mobilisées

Veille technologique Recherche, qualification des sources et synthèse d'offres hétérogènes.	Analyse comparative Définition de critères communs et mise en évidence des écarts significatifs.
Computer graphics	Prototypage XR

Rendu temps réel de liquides, effets thermiques et phénomènes lumineux.	Couplage entre gestes, casque, objets manipulés et représentation numérique.
Modélisation interactive Choix d'un niveau de plausibilité adapté à l'usage éducatif.	Communication scientifique Transformation de résultats techniques en arguments, tableaux et figures compréhensibles.

Conclusion

Le travail de Thierry Flüch et Ivan Serra-Moncadas constitue une contribution structurante à XR-LearnEnv. Il ne s'agit pas d'un simple support documentaire. Le benchmark a établi le besoin d'innovation, tandis que les simulations ont fourni des preuves techniques tangibles. Ces résultats ont donné au projet une base plus solide pour définir son ambition tri-sensorielle, son périmètre de recherche et sa valeur pour l'enseignement pratique de la chimie.

Source et traçabilité

Dossier XR-LearnEnv soumis à BRIDGE Discovery le 28 avril 2026. Passages principaux : état de l'art et Tableau 1, description du projet pp. 1-2 (PDF pp. 22-23); réalisations antérieures et Figure 2, pp. 3-4 (PDF pp. 24-25); positionnement technique et scénarios, pp. 5-8 (PDF pp. 26-29) ; références aux solutions, PDF pp. 42-43.