

Abstract

Higher education is facing new constraints, such as the inability to attend face-to-face classes due to various factors such as pandemics. Real-time communication technologies offer a promising alternative that must be exploited to meet these challenges. In order to promote the use of these communication tools, our project proposes StudX, a prototype application for virtual classes. The development of this platform required the use of modern software modeling techniques, state-of-the-art technologies and various resources. StudX provides a reliable solution to the distance learning needs of universities through WebRTC-based real-time communication capabilities. This project is an important contribution to the exploitation of real-time communication technologies in the field of education and has the potential to be extended to meet new needs.

Keywords: StudX, WebRTC, online classes, universities, real time communication

Introduction Générale

L'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement supérieur est effective. Cependant, face aux défis d'ordre logistique et financier, il faut adopter des solutions efficaces et minimales, pour la tenue de cours en ligne.

Contexte

Les temps changent et les méthodes d'enseignement également. Dans le cadre de la mondialisation, on assiste à l'emploi du numérique, avec des méthodes de plus en plus créatives et collaboratives, pour une meilleure éducation. Cela reste valable dans le milieu de l'enseignement supérieur. Il va sans dire que des facteurs comme la pandémie de COVID-19 ou encore, l'indisponibilité de cadres de cours adéquats, rendent plus urgent le besoin de transitionner vers des salles de classe virtuelle, pour répondre aux besoins. De ce fait, les technologies de l'information et de la communication constituent un atout décisif dans le succès de cette transition.

Problématique

L'expansion des cours en ligne est désormais un fait. Cela requiert une organisation logistique accrue et un investissement financier pour les entités universitaires. Toutefois, l'on note l'emploi de solutions génériques, qui rendent difficile, voire impossible l'émulation d'un environnement de classe. Pour peu qu'elles soient conformes aux exigences, c'est alors le prix qui peut poser problème. C'est la raison d'être de notre projet, qui vise la mise en place d'une application, pour répondre au besoin d'interactivité lors des cours en ligne, et éliminer les barrières d'ordre logistique et financier, imposées par les solutions génériques.

Objectifs

Le principal objectif est la conception de StudX, un prototype d'application SaaS, permettant la tenue de cours en ligne. En termes de fonctionnalités et buts, il s'agira notamment de pouvoir :

- organiser les différentes classes, filières ou promotions des entités en sections bien définies ;

- définir le calendrier des cours à tenir ;
- organiser des sessions d'audio-conférence pour le déroulement des cours ;
- mettre en place des fonctionnalités telles le partage d'écran et bien d'autre pour émuler un tant soit peu, un environnement de classe présentiel ;
- minimiser les coûts requis dans le cadre de la mise en oeuvre d'une solution de classe virtuelle.

Organisation du document

Le présent document renferme deux chapitres. Dans le premier chapitre, nous ferons une revue de littérature sur le sujet et présenterons les généralités sur quelques notions essentielles. Le second chapitre sera consacré à la présentation des résultats obtenus, des interfaces conçues ainsi que des potentielles insuffisances liées à la solution que nous avons développée.

Revue de littérature

Introduction

Le concept de la formation à distance ne date pas d’hier. Dans ce chapitre, nous ferons une revue des origines de cette méthode d’enseignement. S’en suivra une analyse des techniques modernes de communication en temps réel et des solutions existantes qui permettent de dispenser des cours à distance.

1.1 Formation à distance

L’encyclopédie Wikipedia définit la formation à distance comme une forme d’enseignement ou l’enseignant et l’étudiant sont séparés dans le temps et/ou par l’espace [11].

1.1.1 Origines

Les premiers essais de formation à distance remontent à bien avant l’ère moderne. En effet, déjà en 1728, Caleb Phillips, un professeur, recherchaient des étudiants désirant acquérir des compétences en sténographie, auxquels il dispensait les cours par courrier.

Au sens moderne, le premier cours d’enseignement à distance, est attribué à Isaac Pitman, toujours en rapport avec la sténographie. Un nouvel élément qui apparaît dans le cas actuel, c’est la rétroaction des étudiants, qui devaient envoyer leurs transcriptions par la poste, pour correction. Ce mode de fonctionnement fut rendu possible par l’uniformisation des tarifs postaux en Angleterre. Plusieurs institutions telles que Oxford et l’université de Londres ont également expérimenté l’enseignement à distance.

Aujourd’hui, l’expansion d’Internet et du World Wide Web, permettent la mise en œuvre des moyens toujours plus sophistiqués, pour dispenser les cours à distance.

1.1.2 Internet et formations en ligne

L’avènement des nouvelles technologies de l’information et de la communication a donné lieu à la mise en place des formations en ligne, une forme évoluée de formation à distance [17]. En 2020, par

exemple, sous l'impulsion de la pandémie alors en cours, plusieurs universités dont celle d'Abomey-Calavi, effectuent la transition partielle ou totale vers les classes virtuelles [10].

On distingue deux environnements d'apprentissage. D'une part, les environnements **asynchrones**, qui offrent une totale liberté à l'apprenant quant à la gestion de son temps. L'enseignant et lui sont séparés littéralement par le temps et la distance. Ainsi, il peut consulter les ressources au moment qui lui convient le mieux. Cela permet une assimilation plus facile, étant donné que chaque apprenant peut s'adapter en fonction de ses besoins spécifiques. Toutefois, il est possible que l'apprenant se retrouve isolé et ne fasse finalement aucun progrès, faute de support.

D'autre part, un environnement **synchrone** essaie d'émuler une classe présentiel, à la seule différence que les participants sont physiquement distants. Avec des outils de messagerie instantanée et/ou de visioconférence, les apprenants peuvent interagir avec leurs pairs ainsi que le ou les enseignants.

En termes de classification des diverses formes de cours en ligne, Andreas Kaplan, auteur du livre *Contemporary Issues in Social Media Marketing* [5], propose une approche simplifiée basée sur les facteurs comme le temps, la distance et le nombre d'apprenants. Le tableau 1.1 en fait un récapitulatif.

TABLE 1.1 – Classification des types de formations en ligne

Type de cours	Nombre d'apprenants	Type d'environnement
Massive Open Online Courses (MOOC)	illimité(en théorie)	asynchrone
Synchronous Massive Online Courses (SMOC)	illimité(en théorie)	synchrone
Small Private Online Courses (SPOC)	limité	asynchrone
Synchronous Small Online Courses (SSOC)	limité	synchrone

Notons que notre étude s'intéresse notamment aux environnements d'apprentissage synchrones, avec le support d'un grand nombre d'apprenants (SMOCs).

1.2 Communication en temps réel

Les outils de communications en temps réel désignent une catégorie de logiciels qui garantissent le traitement et la transmission instantanée, ou avec un délai fortement négligeable, de l'information. Parmi les protocoles permettant ce type de communication, le plus en vogue reste **Web Real-Time Communication** (WebRTC).

WebRTC est un protocole open source de transmission P2P, qui assure la transmission de média (audio, vidéo) et de données brutes, presque sans latence (moins d'une seconde), le tout dans un contexte hautement sécurisé. Il s'agit en réalité, d'une collection de protocoles datant des années 2000. Pour établir une connexion, il faut quatre étapes à savoir la signalisation, la connexion proprement dite, la sécurisation puis la communication.

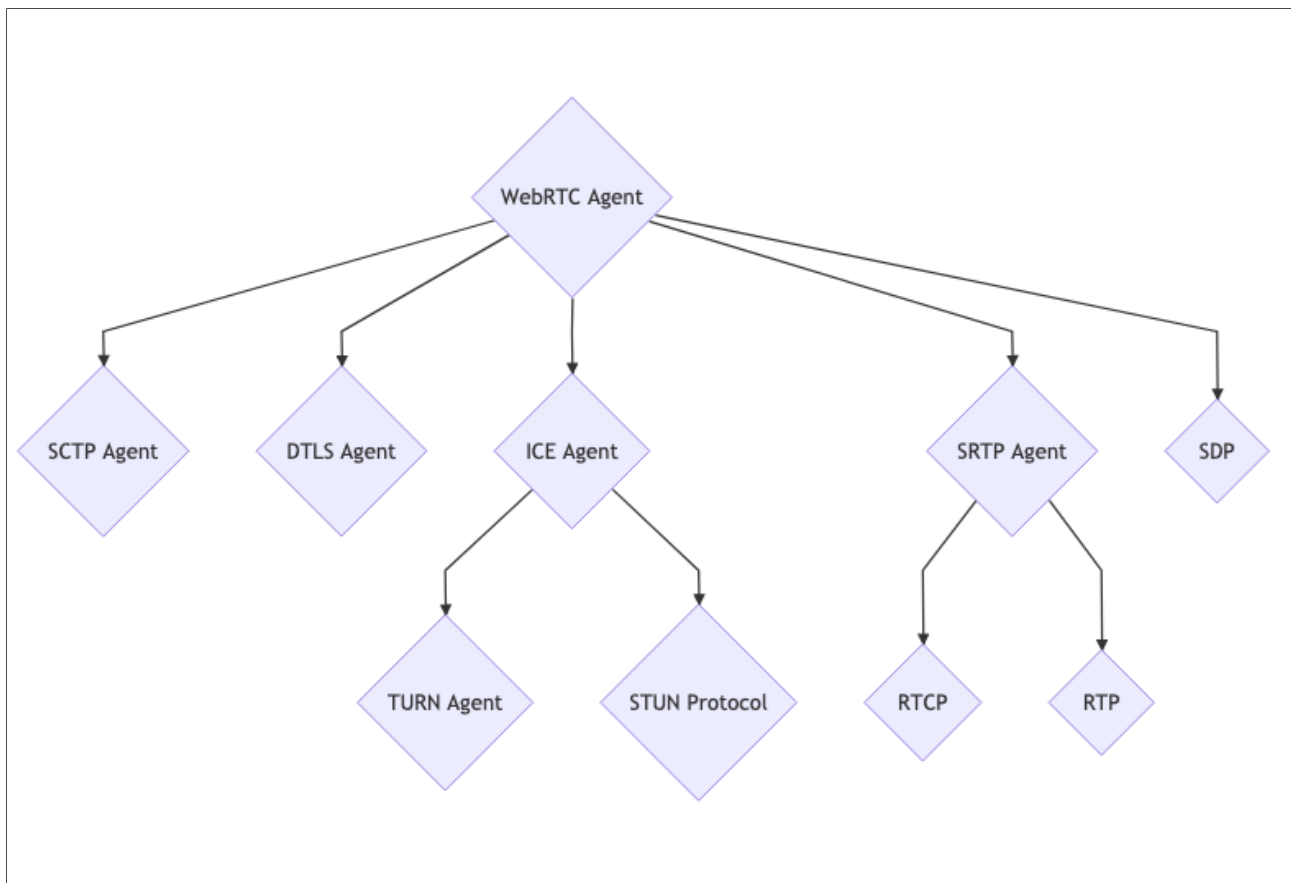


FIGURE 1.1 – Protocoles employés par la technologie WebRTC

La figure ci-dessus présente les divers protocoles exploités par **WebRTC**. Chacun d’eux intervient à une étape bien précise, dans l’établissement de la connexion entre deux appareils.

Tout commence avec la signalisation, qui désigne le processus initial de mise en relation des pairs. Sans ce processus, une machine quelconque n’a aucune idée de qui voudrait bien la contacter. Pour ce faire, le protocole **SDP** est utilisé et permet la transmission d’informations capitales comme :

- l’adresse et le port de chaque agent **WebRTC** (plusieurs variantes, en réalité)
- les codecs multimédia supportés
- d’autres valeurs comme des certificats de sécurité nécessaires à la mise en place de la connexion et la sécurisation.

A la connexion, les agents **WebRTC** établissent un lien direct entre eux, sans intermédiaire. Face à la multitude de possibilités de connexion (couples constitués de l’adresse et du port), le protocole **ICE** permet de choisir le meilleur candidat, en faisant recours au serveur **STUN** et parfois, à un serveur **TURN**. Le serveur **TURN** permet la retransmission des données lorsqu’il est impossible pour un agent **WebRTC** d’établir un lien direct avec un autre agent en raison de la configuration réseau (**NAT** et les types de liaisons possibles [9]).

Pour assurer la sécurité de la connexion, les protocoles **DTLS** et **SRTP** offrent une couche de chiffrement pour les contenus multimédia et les paquets brutes.

Enfin, les agents peuvent s’échanger de la donnée, du contenu multimédia, presque sans latence, grâce au protocoles **RTP** et **SCTP**.

WebRTC est une technologie complexe qui requiert une certaine expertise quant à la connaissance des protocoles, leur utilisation et la mise en œuvre d'applications en temps réel. Elle sert de base aujourd'hui, la plupart des applications de communication en temps réel.

1.3 Software as a Service

Parmi les modèles de distribution de logiciels, le SaaS représente une méthode où le concepteur ou l'entité tenant l'application, l'héberge en ligne et la rend accessible à ses utilisateurs. En terme de commercialisation, il est possible d'offrir un accès à la plateforme moyennant un abonnement ou l'achat d'une version privée pour les besoins des corporations.

1.4 Présentation de solutions existantes

Plusieurs solutions s'inscrivent déjà dans le cadre du déroulement de cours en ligne en temps réel. Nous avons choisi quelques unes à passer en revue.

Il est important de préciser que les insuffisances relevées par rapport à ces outils ne sont aucunement d'ordre technique. Nous nous intéressons plutôt aux aspects logistique et financier. En effet, un des objectifs visés est de minimiser l'investissement requis pour la mise en place d'une solution de classe en ligne, tout en éliminant les barrières possibles.

1.4.1 Google Classroom

Google Classroom est un outil de la suite Google pour l'éducation. À défaut de disposer d'un module de visioconférence, il s'intègre parfaitement avec Google Meet, à cette fin. L'application offre une version gratuite et dispose d'une interface accessible. Toutefois, pour les réunions en ligne, le nombre maximum de connexions possibles se limite à 500 participants. Pour les entités universitaires dont l'effectif est considérable par classe, ceci pourrait présenter un désavantage. Grâce à la version payante néanmoins, on peut mettre en place un live stream, pour permettre d'accéder au contenu de la réunion sans toutefois pouvoir interagir avec les participants. Mais le modèle de souscription, basé sur le nombre d'utilisateurs risque d'entraîner des frais assez élevés.

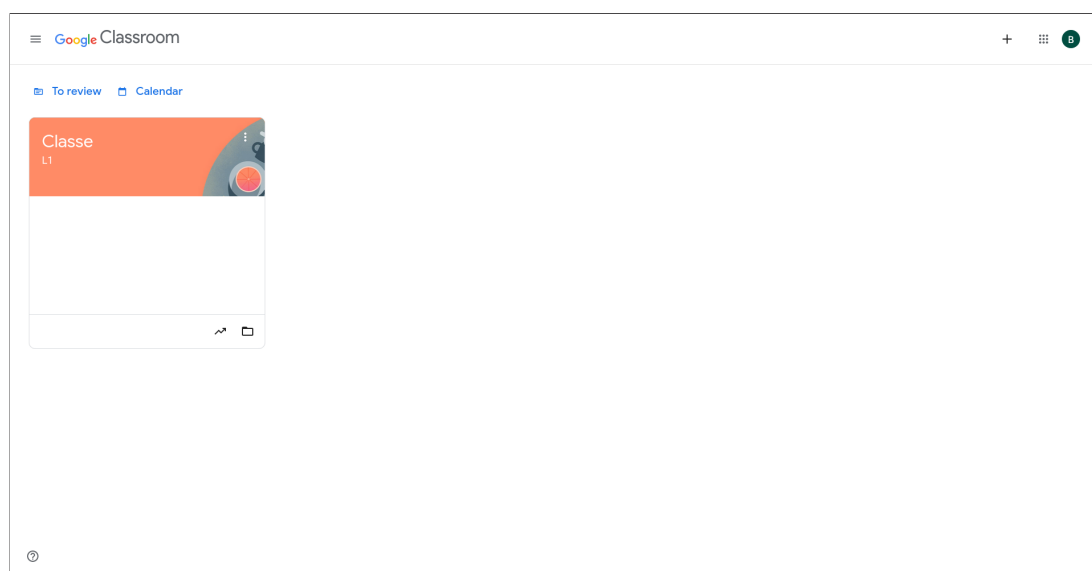


FIGURE 1.2 – Page d'accueil de Google Classrooms

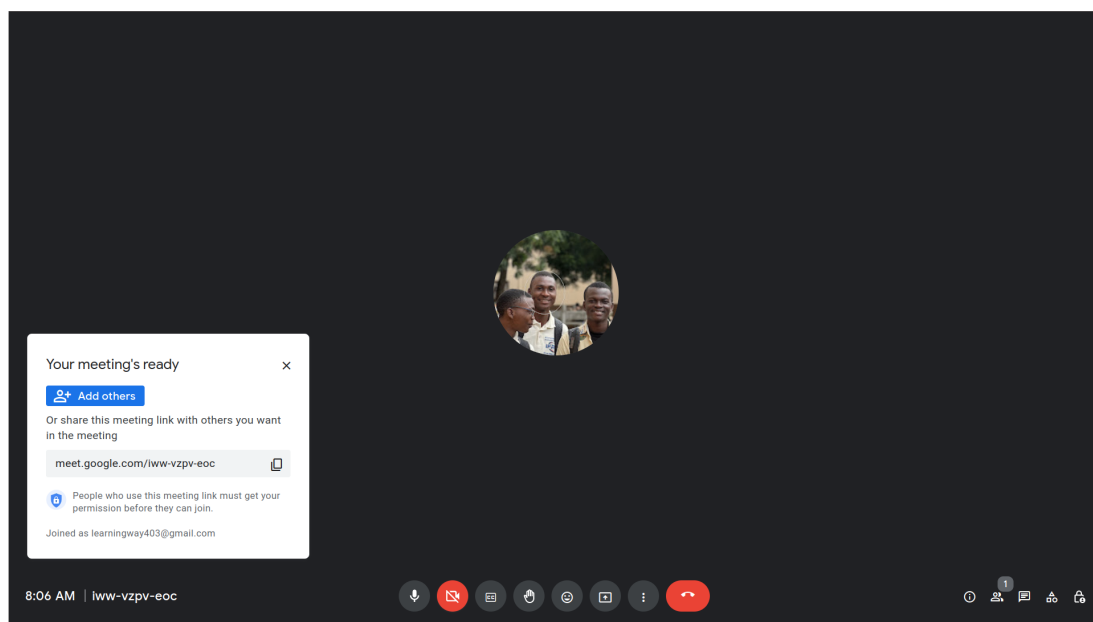


FIGURE 1.3 – Utilisation de Google Meet

Google Workspace Solutions Produits Secteurs Tarifs Ressources Console d'administration Contacter le service commercial Démarrer

Sélectionnez votre édition. Essayez-la sans frais pendant 14 jours.

Les forfaits Google Workspace par utilisateur et par mois démarrent à seulement 5,20 € l'édition Business Starter, 10,40 € pour l'édition Business Standard et 15,60 € l'édition Business Plus.

Tous les forfaits comprennent :

- Gmail
- Drive
- Meet
- Calendar
- Chat
- Jamboard
- Docs
- Sheets
- Slides
- Keep
- Sites
- Forms

Business Starter	Business Standard	Business Plus	Enterprise
5,20 € par utilisateur et par mois	10,40 € par utilisateur et par mois	15,60 € par utilisateur et par mois	Tarifs disponibles auprès du service commercial
Démarrer	Démarrer	Démarrer	Contacter le service commercial
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adresse e-mail professionnelle personnalisée et sécurisée ✓ Visioconférences pouvant accueillir 100 participants ✓ 30 Go de stockage par utilisateur ✓ Fonctionnalités de gestion et de sécurité ✓ Assistance standard 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adresse e-mail professionnelle personnalisée et sécurisée ✓ Visioconférences pouvant accueillir 150 participants + enregistrement ✓ 2 To de stockage par utilisateur* ✓ Fonctionnalités de gestion et de sécurité ✓ Assistance standard (mise à niveau payante pour l'assistance avancée) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adresse e-mail professionnelle personnalisée et sécurisée + eDiscovery, conservation ✓ Visioconférences pouvant accueillir 500 participants + enregistrement vidéo, suivi de la participation ✓ 5 To de stockage par utilisateur* ✓ Fonctionnalités de sécurité et de gestion avancées, y compris Vault et la gestion avancée des points de terminaison ✓ Assistance standard (mise à niveau payante pour l'assistance avancée) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Messagerie professionnelle sécurisée et personnalisée + eDiscovery, conservation, chiffrement S/MIME ✓ Visioconférences pouvant accueillir 500 participants + enregistrement vidéo, suivi de la participation, suppression du bruit et diffusion en direct dans le domaine ✓ Autant d'espace de stockage que nécessaire* ✓ Fonctionnalités de sécurité, de gestion et de conformité avancées, y compris Vault, protection contre la perte de données, sélection des emplacements des données et

FIGURE 1.4 – Offres de souscription à la suite Google pour éducation

1.4.2 Zoom

Zoom est un outil de communication très performant, qui a la capacité de supporter un grand nombre d'utilisateurs. Il dispose de fonctionnalités très utiles pour le déroulement de cours en ligne comme le partage d'écran ou le tableau virtuel. Accéder à ces fonctionnalités dans le cadre d'une utilisation à grande échelle requiert une souscription et les offres de Zoom ne sont pas des plus simples. En effet, Zoom dispose d'un panel large de services associés (figure 1.6) et donc, sans orientation, il est possible de choisir une solution inadéquate en rapport avec le besoin, sans compter la perte financière.



FIGURE 1.5 – Interface de l'application Zoom

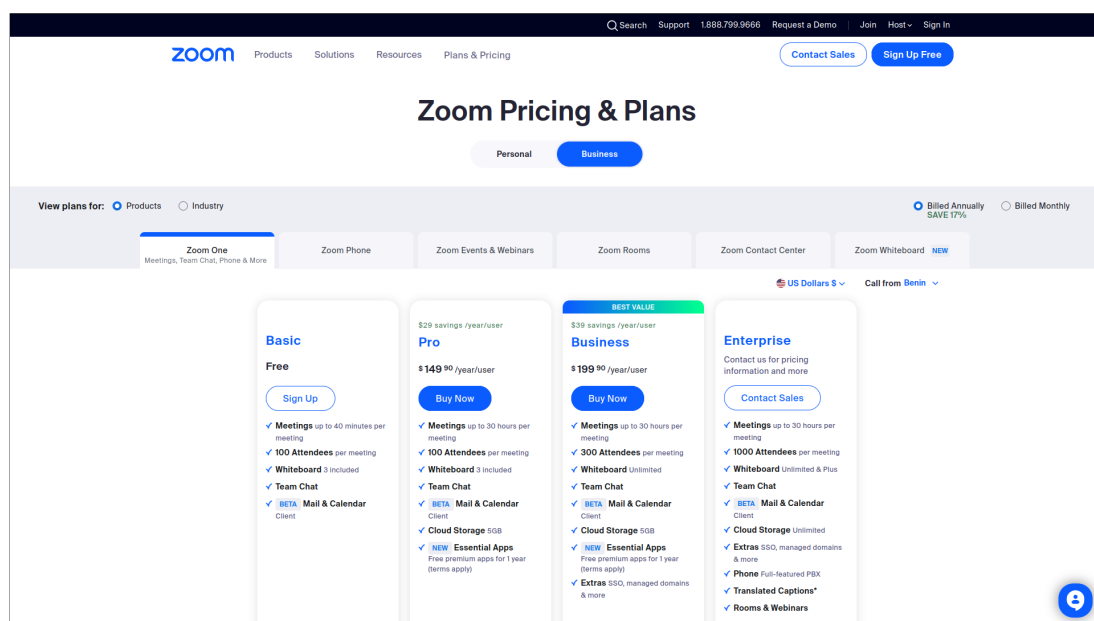


FIGURE 1.6 – Interface de l'application Zoom

1.4.3 Moodle

Moodle est un LMS Open Source populaire très connu et utilisé dans les entités de l'enseignement supérieur. Il peut être hébergé ou utilisé en ligne. Il offre un large panel de fonctionnalités et permet l'intégration de divers modules dont des modules de visio-conférence. BigBlueButton (figure 1.8) est une solution Open source employée à cet effet. La mise en place requiert toutefois, une certaine expertise et du matériel spécifique, ce qui en limiterait la portabilité.

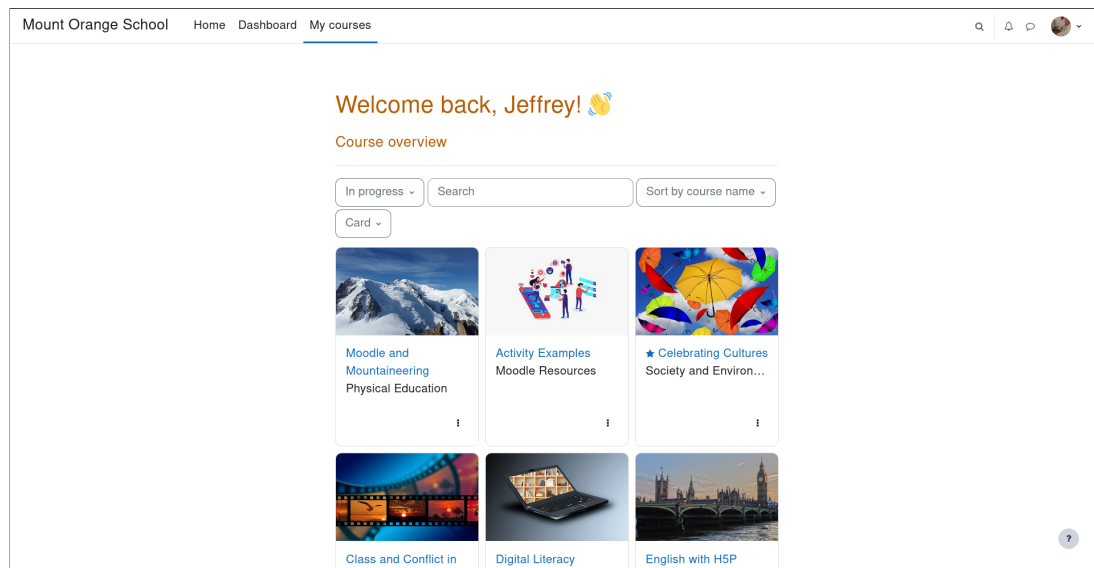


FIGURE 1.7 – Démonstration des capacités de Moodle

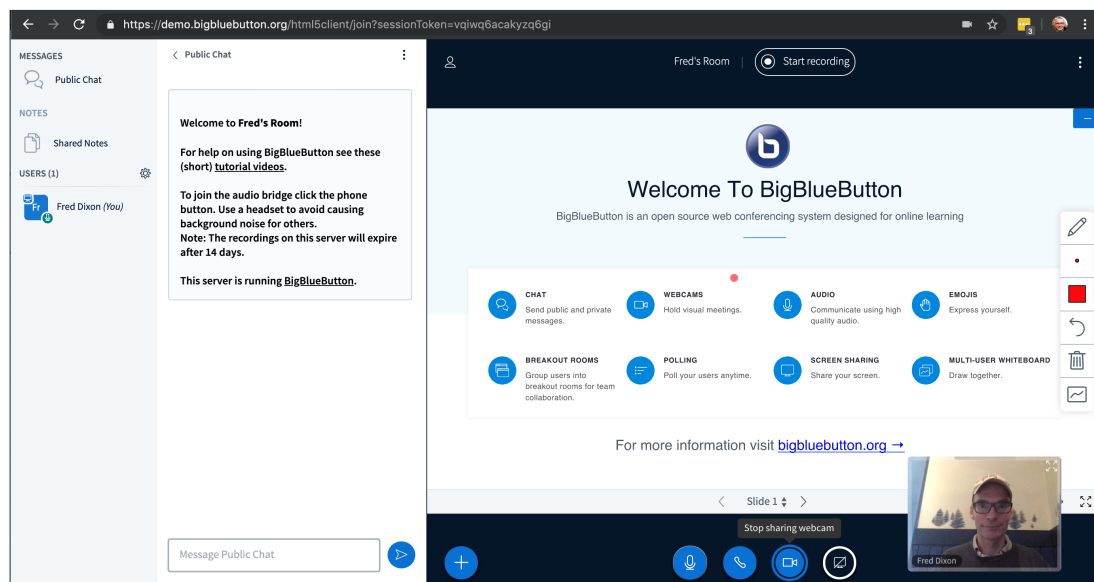


FIGURE 1.8 – Démonstration de BigBlueButton

Cette liste non exhaustive des outils exploités nous a permis de mieux évaluer le besoin, dans le but d'orienter proprement le projet de développement que nous avons mis en place. Ainsi, malgré les nombreux avantages qu'ils offrent, ils présentent également quelques inconvénients, notamment en termes de coût et d'accessibilité.

Conclusion

Ce chapitre a permis de faire une revue de l'existant et jette les bases des suivants en exposant les concepts clés qui seront développés. Les solutions suscitées conviendraient pour un usage modéré. Elles peuvent s'avérer coûteuses, pour peu qu'elles répondent au besoin. La solution que nous proposons vise à doter les organismes de l'enseignement supérieur, d'un moyen simple mais efficace de tenir les cours en ligne, offrant des outils d'assistance, tout en minimisant les coûts, que cela pourrait

engendrer. Pour sa mise en place, il est indispensable d'effectuer une analyse préliminaire dans le but d'identifier les différentes composantes d'un tel système et de faire des choix de conception adaptés. C'est ce à quoi s'attellera le chapitre suivant.

Résultats et Discussion

Introduction

Ce chapitre s'attelle à la présentation du prototype de StudX, l'application de communication en temps réel que nous proposons. Nous en présenterons les diverses fonctionnalités accompagnées de capture d'écran. Puis, au travers d'une discussion, nous en présenterons les limites, les contraintes et les possibilités d'expansion.

2.1 Résultats

2.1.1 Authentification

L'accès à l'application est subordonné à l'authentification de l'utilisateur. La figure 2.1 en présente l'interface. Elle offre la possibilité de se connecter ou de s'inscrire.

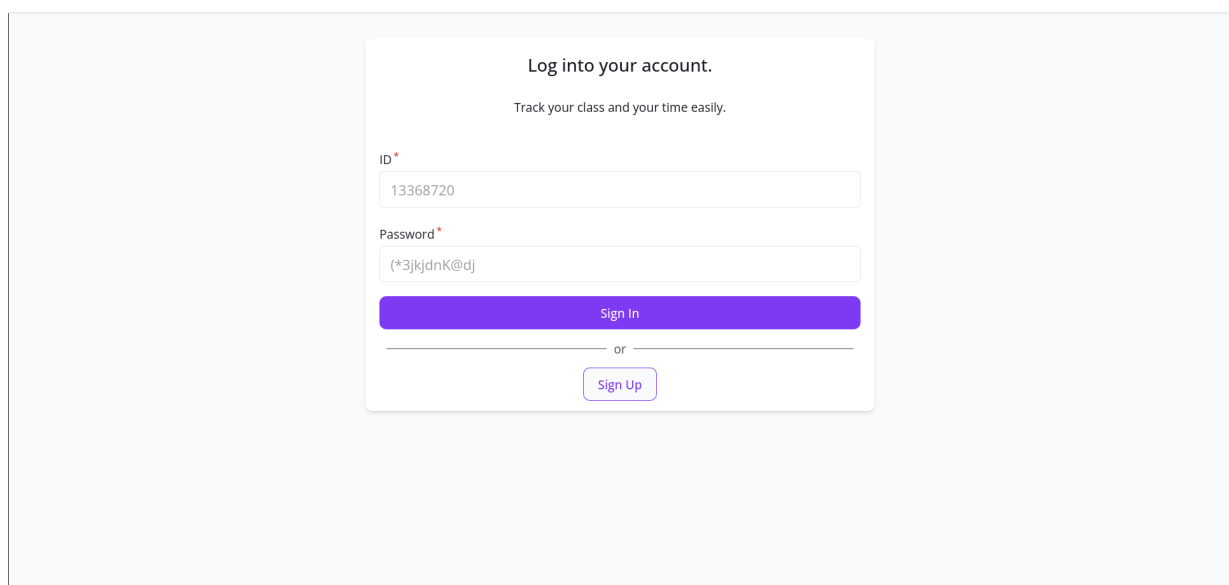
The image shows a login and registration interface for an application named StudX. The interface is centered on a light gray background. At the top, it says "Log into your account." followed by the tagline "Track your class and your time easily." Below this, there are two input fields: "ID *" with the value "13368720" and "Password *" with the value "(*3]kjdnK@dj". A prominent blue "Sign In" button is located below the password field. Underneath the button, the word "or" is centered, and a smaller, outlined "Sign Up" button is positioned at the bottom.

FIGURE 2.1 – Page d'authentification de StudX

2.1.2 Calendrier

Après authentification, l'utilisateur accède au calendrier des divers événements planifiés. Il lui est possible de réduire ou d'étendre la vue au jour actuel, aux semaines ou encore aux mois. S'il s'agit d'un administrateur ou d'un enseignant, il peut en ajouter de nouveaux. La figure 2.2 présente le calendrier, qui présente tous les programmes du mois courant.

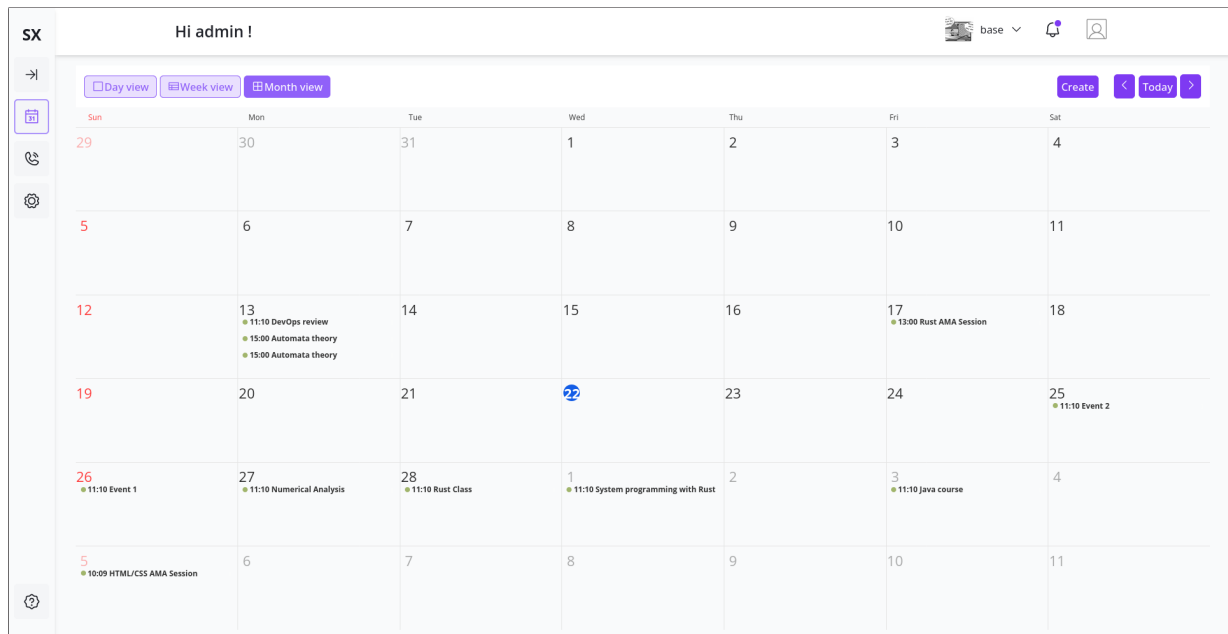


FIGURE 2.2 – Calendrier des planifications

S'il dispose des permissions nécessaires, l'utilisateur peut ajouter un événement au calendrier en suivant le formulaire que montre la figure 2.3.

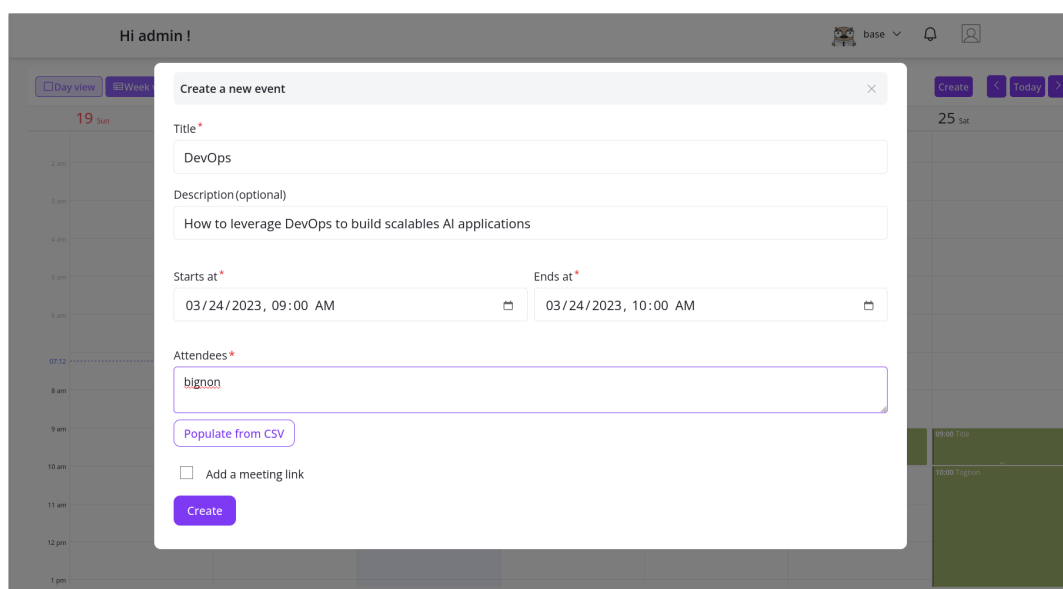


FIGURE 2.3 – Calendrier des planifications

Il est possible d'associer à l'événement un lien d'accès à la session de conférence en ligne. Pour y accéder par la suite, les utilisateurs peuvent consulter les détails dudit événement (figure 2.4).

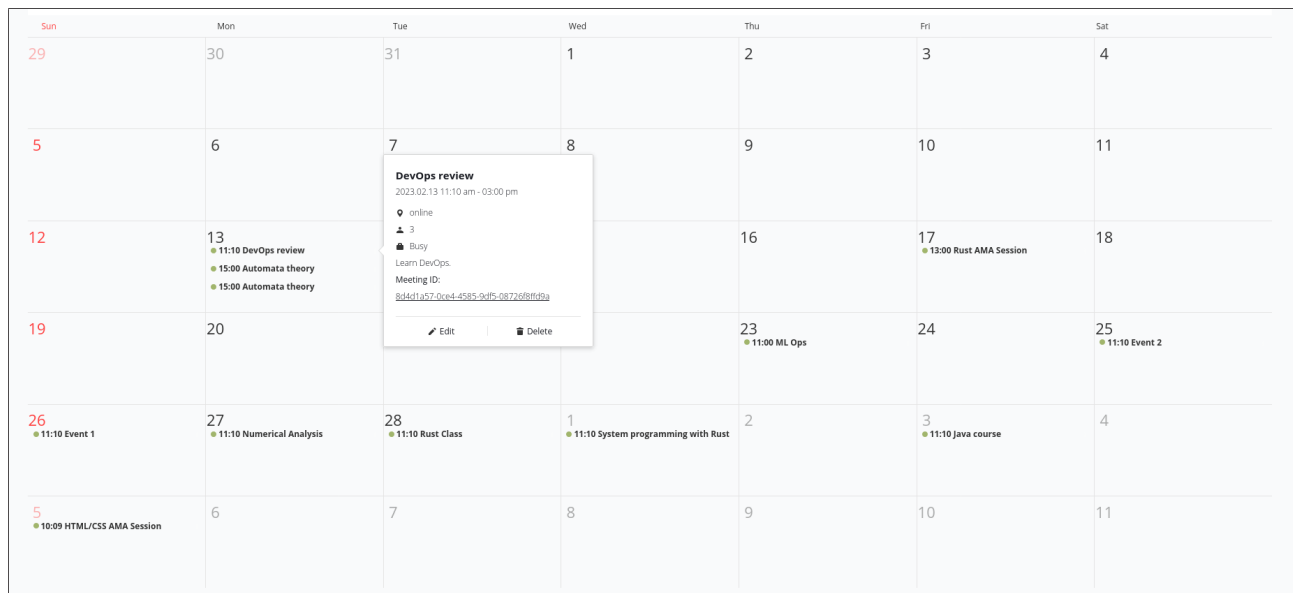
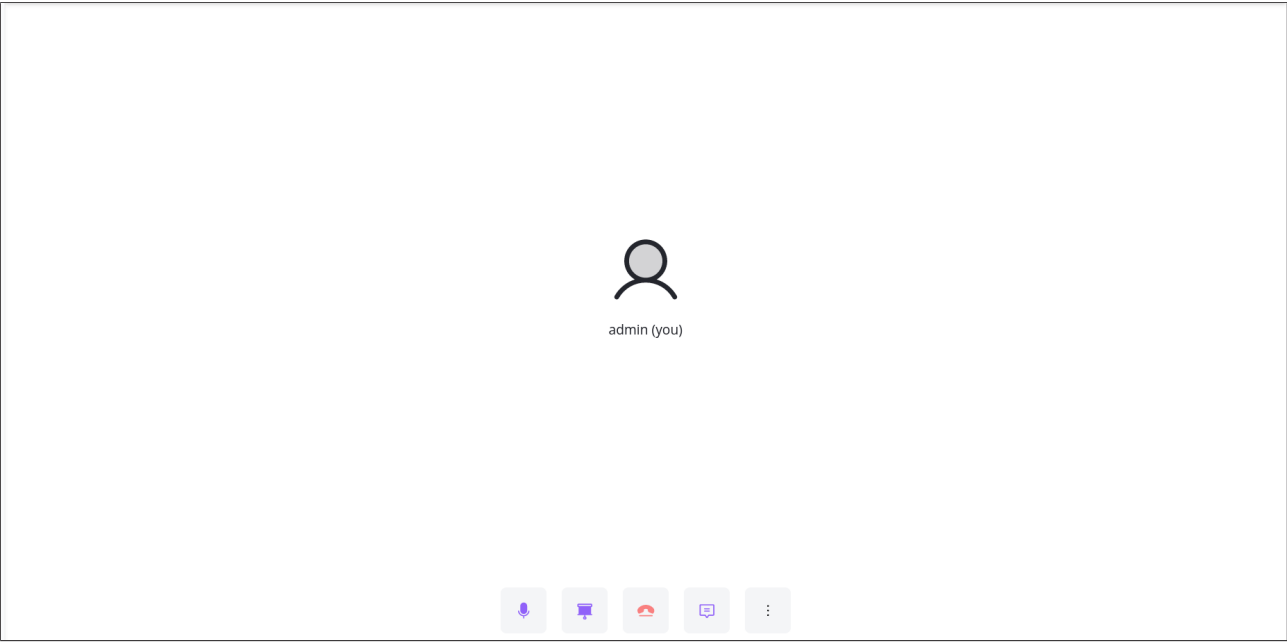


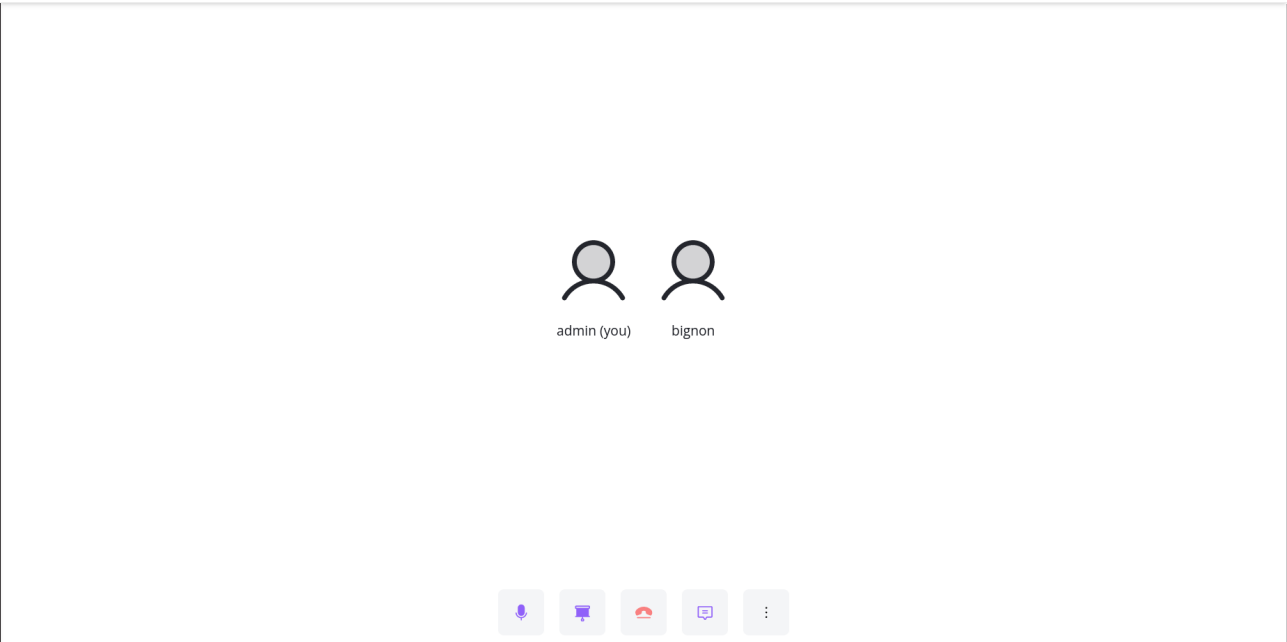
FIGURE 2.4 – Détails d'un événement

2.1.3 Sessions en ligne

Les événements incluant un lien donnent accès à une session en ligne que peuvent rejoindre tous les participants disposant du lien. La figure 2.5 présente à quoi ressemble l'interface par défaut, avec la grille des participants et les options de contrôle. Outre la voix, les participants ont la possibilité d'interagir entre eux via des messages écrits (figure 2.6).



(a) Un participant



(b) Deux participants

FIGURE 2.5 – Grille des participants et boutons de contrôle.

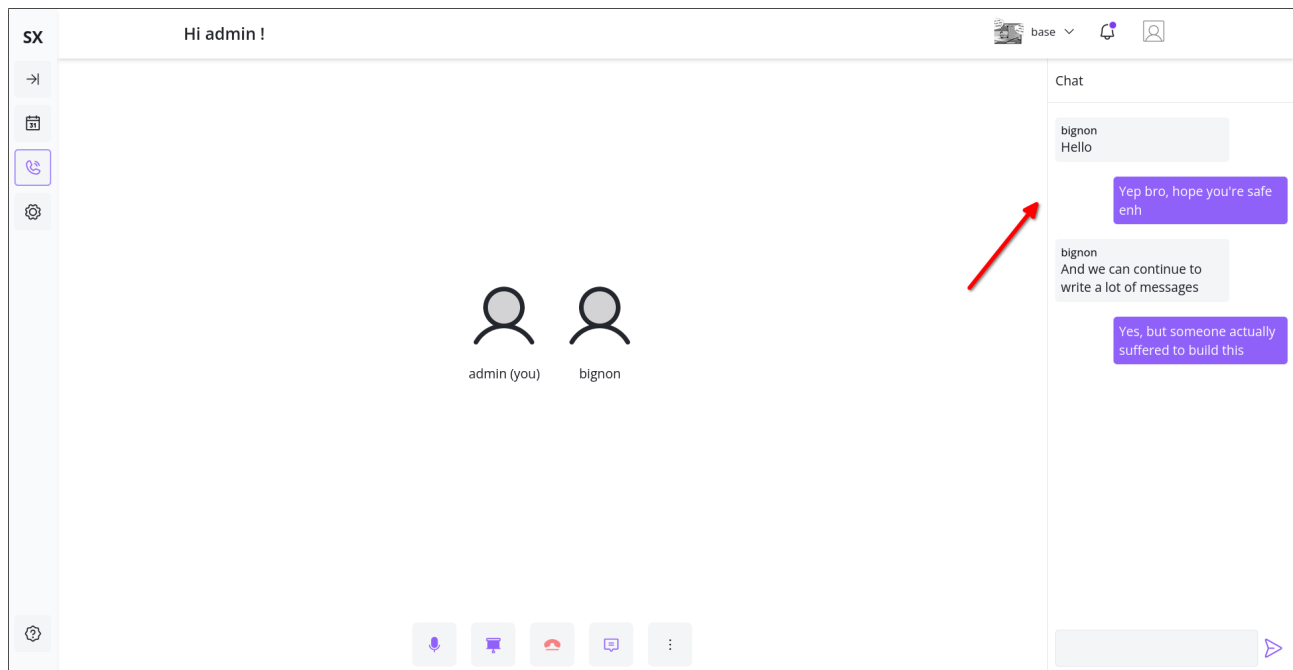
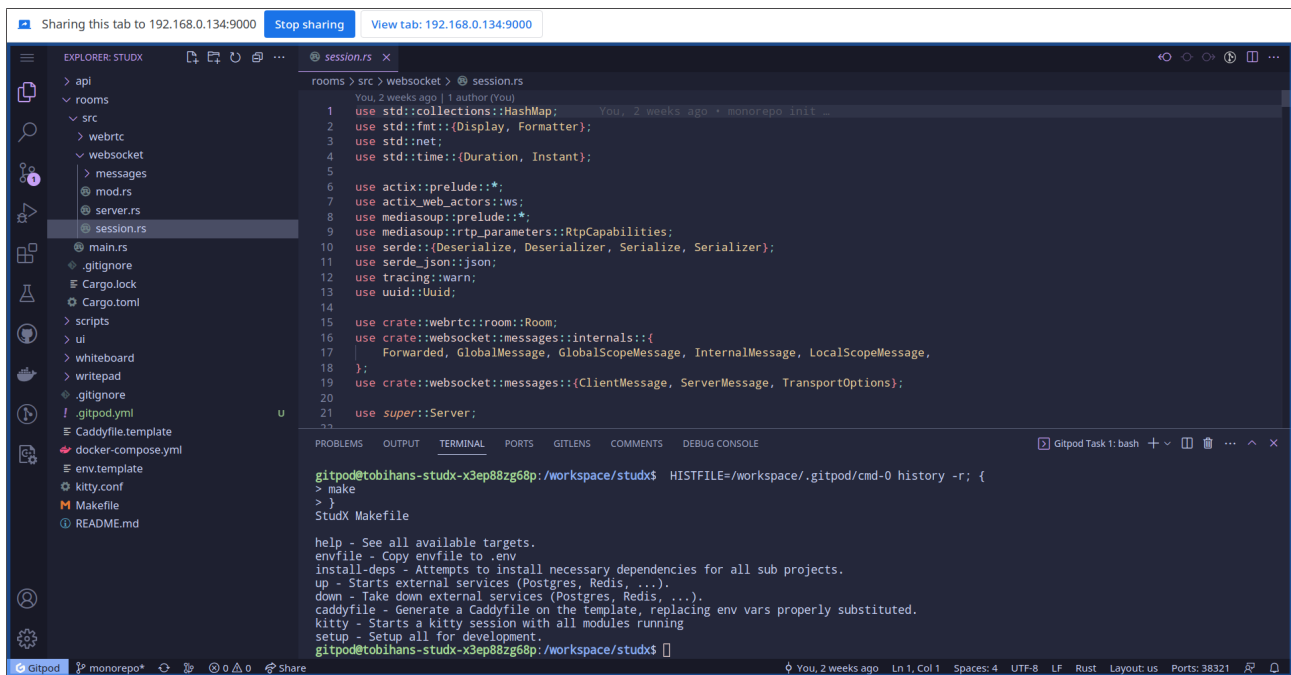
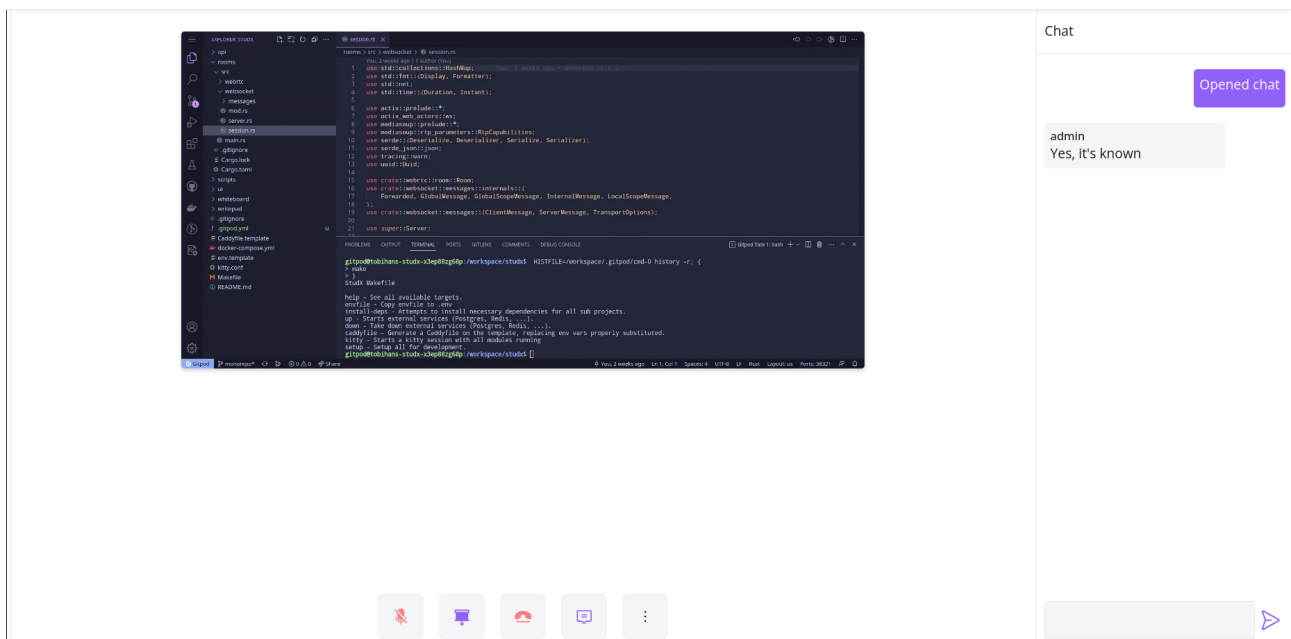


FIGURE 2.6 – Messagerie instantannée intégrée à StudX

Plusieurs autres fonctionnalités sont exploitables. L'une d'elles est le partage d'écran. Pour illustrer, nous nous sommes servis de deux appareils avec l'un faisant le partage, comme le montre la figure 2.7.



(a) Participant faisant un partage d'écran.



(b) Visualisation du partage d'écran

FIGURE 2.7 – Partage d'écran.

Les participants disposent également d'un whiteboard, c'est-à-dire un tableau virtuel, pour effectuer des illustrations. Le contenu est synchronisé entre tous les participants. La figure 2.8 fait une démonstration de ladite fonction.

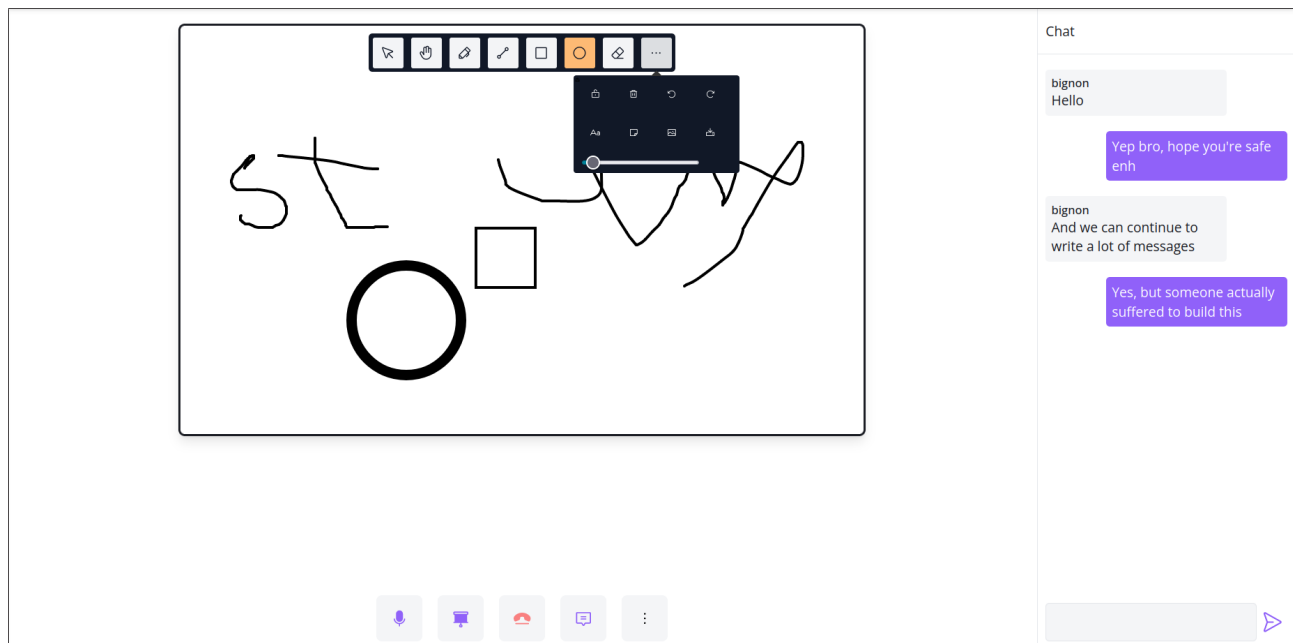


FIGURE 2.8 – Tableau virtuel

On peut également percevoir sur l'image, les modifications apportées au projet Open Source qui a servi de base au développement de cette fonctionnalité. L'application dispose également d'un dispositif de notes intégré, que nous qualifions de **Writepad**. La figure 2.9 en fait la présentation.

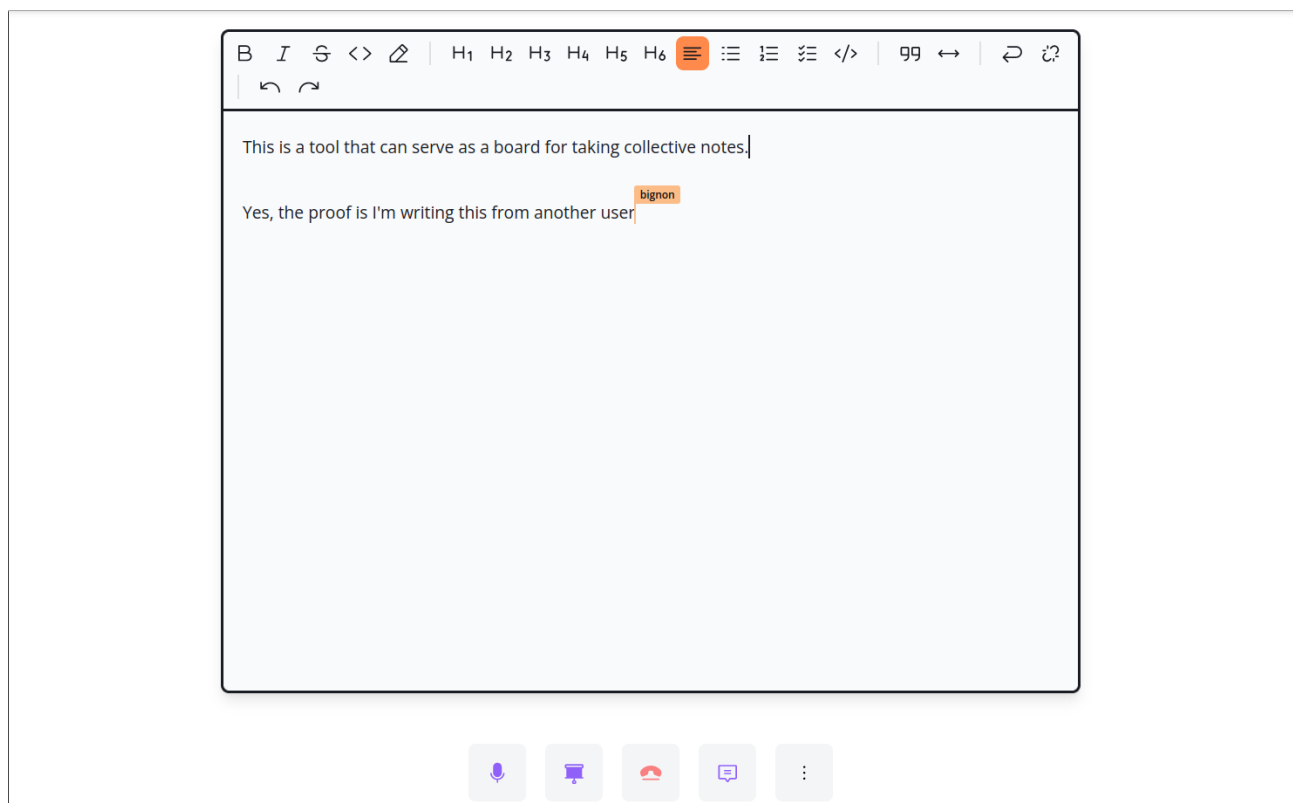


FIGURE 2.9 – Outil de note synchronisé

Les fonctions suscitées rendent inaccessible la grille des participants. Mais il est toujours possible de pouvoir y accéder dans la même section que la messagerie, comme le montre la figure 2.10.

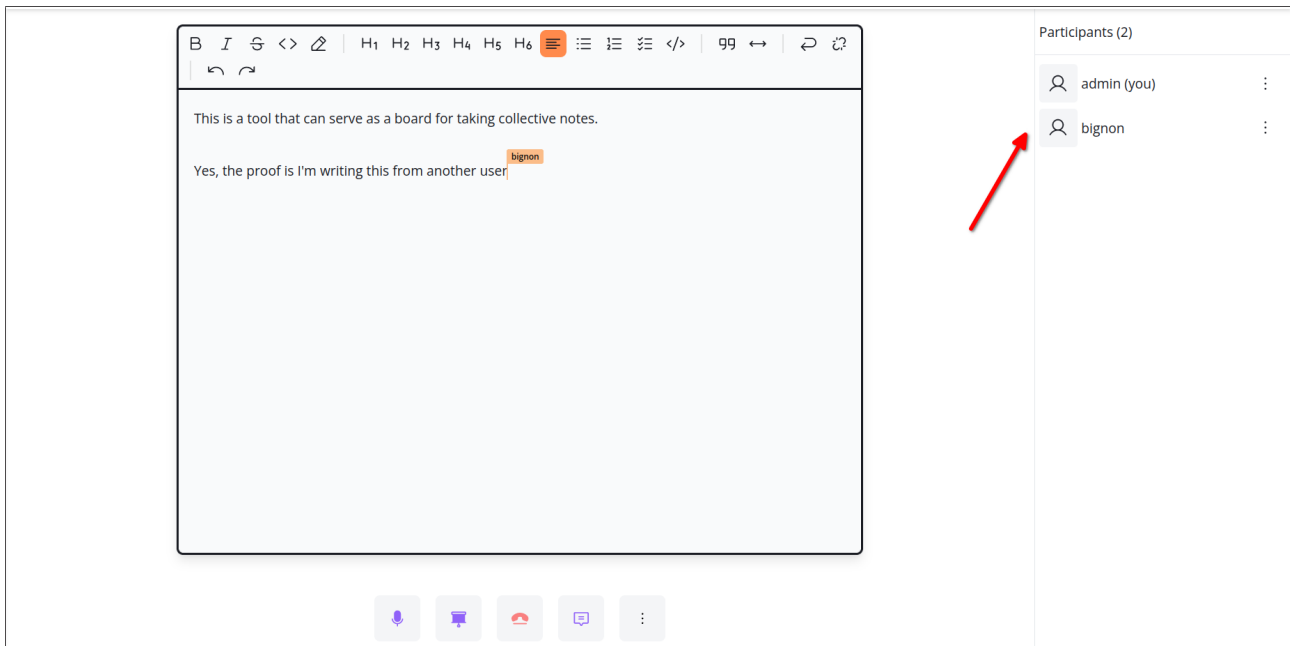
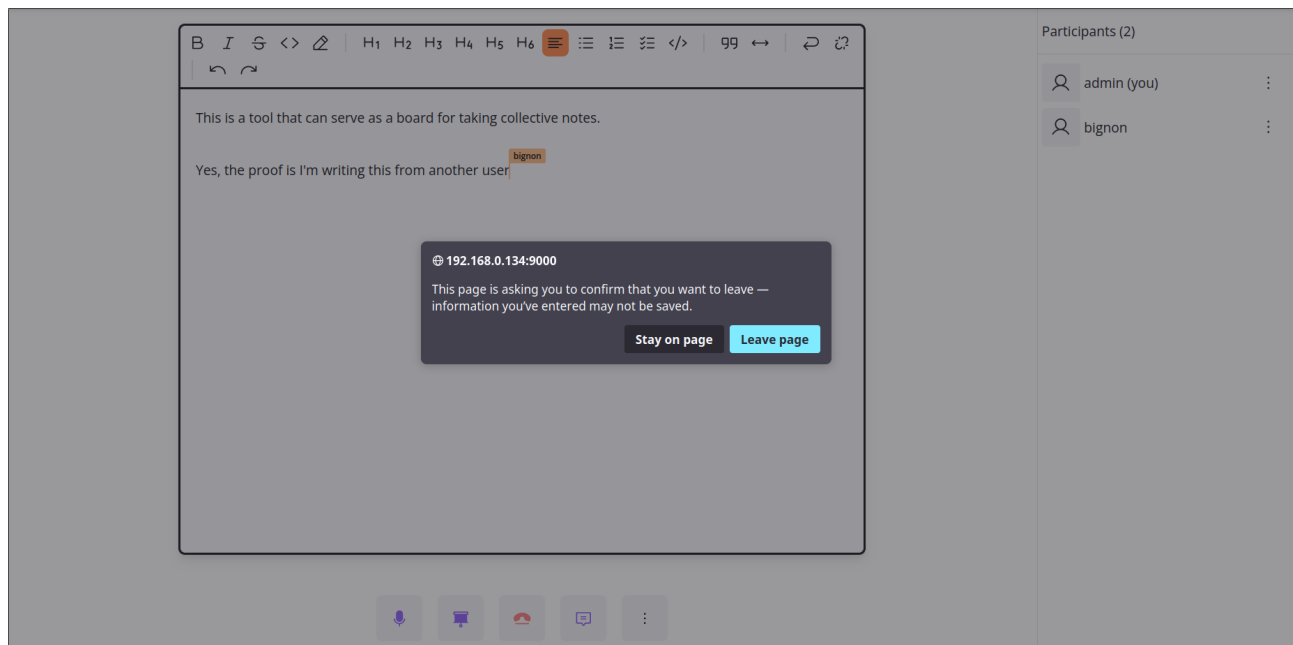
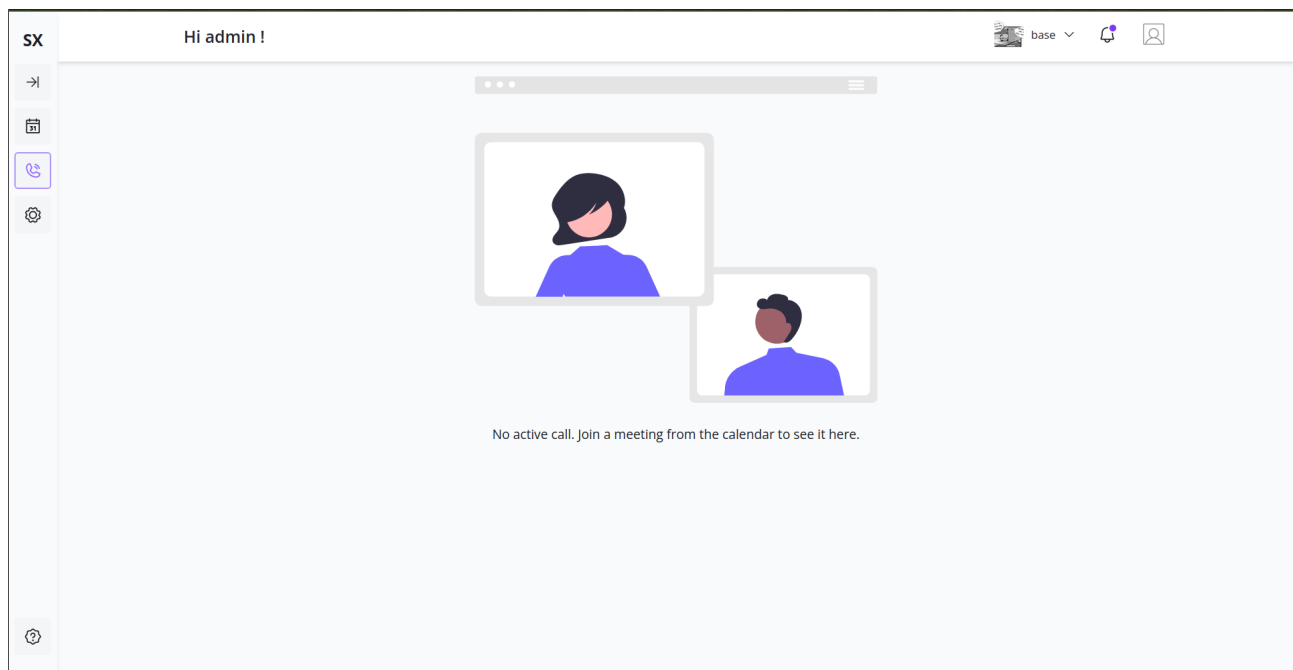


FIGURE 2.10 – Liste des participants

Enfin, chaque utilisateur a la possibilité de quitter la réunion. Si par mégarde, il essaie de recharger par exemple, l'onglet, une confirmation est requise (si le navigateur supporte cette fonctionnalité), comme le montre la figure 2.11.



(a) Confirmation de déconnexion



(b) Page de redirection après déconnexion

FIGURE 2.11 – Processus de déconnexion.

2.1.4 Autres fonctionnalités

Dans le but d'améliorer l'expérience utilisateur, nous avons jugé utile d'ajouter quelques fonctionnalités outre celles initialement visées. Parmi elles figurent le mode sombre et la mise en place d'un tutoriel interactif expliquant les diverses composantes de notre application.

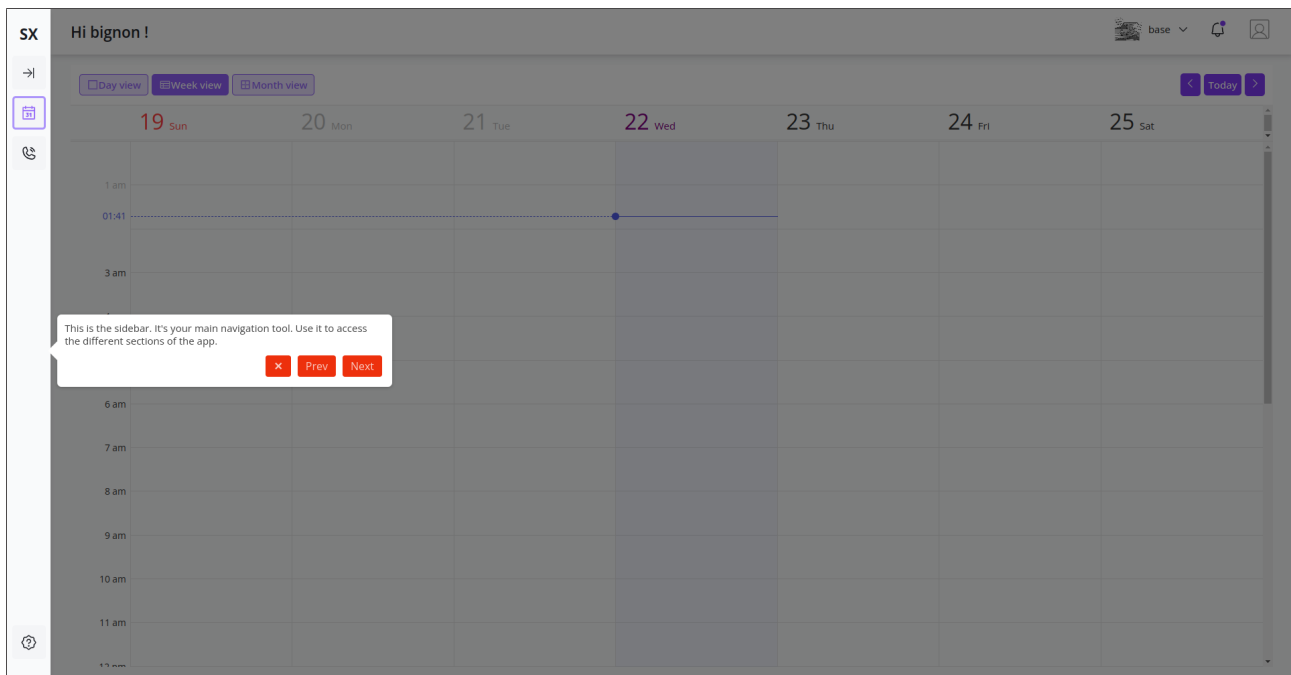


FIGURE 2.12 – Tutoriel interactif d'introduction à StudX

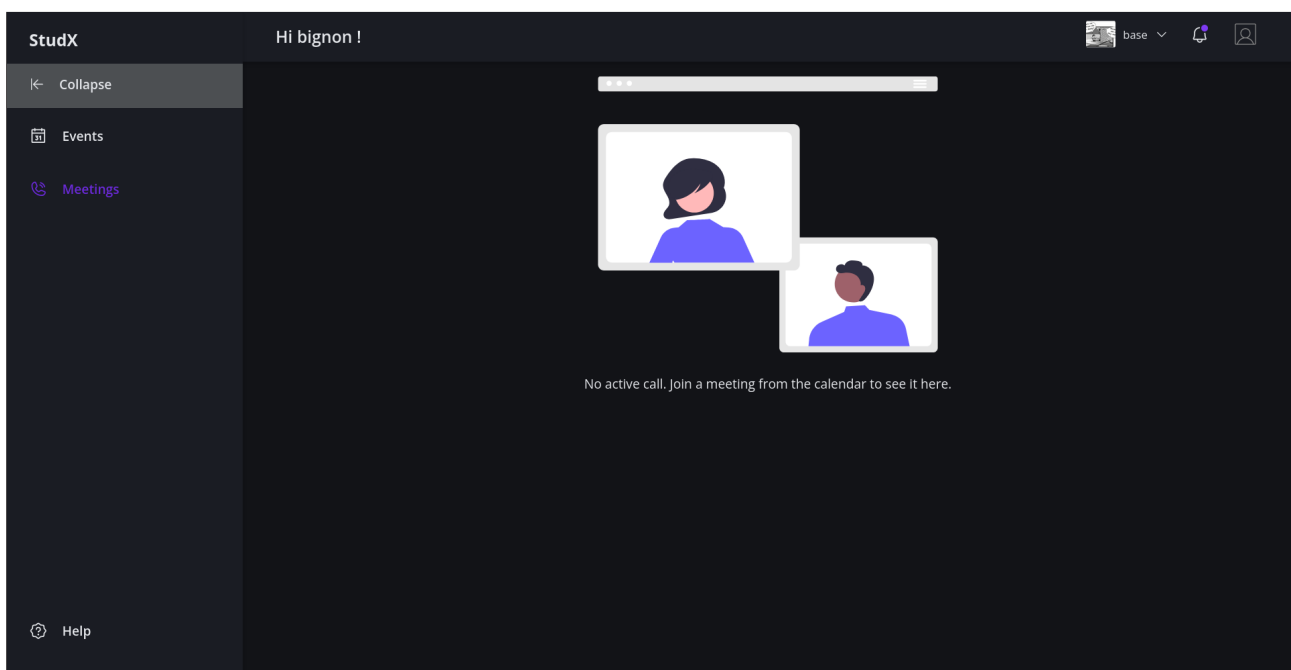


FIGURE 2.13 – Mode sombre

Les administrateurs de la plateforme disposent également d'un accès aux paramètres de l'organisation qu'ils dirigent et peuvent ainsi ajouter ou retirer des membres (figure 2.14).

(a) Paramètres généraux.

(b) Gestion des membres.

FIGURE 2.14 – Paramètres d’une organisation.

2.2 Discussion

Le développement de l’application StudX a été un projet ambitieux, nécessitant la mise en place de nombreuses technologies modernes pour répondre aux besoins d’un environnement en ligne en constante évolution. Les fonctionnalités prévues pour l’application ont toutes été implémentées, permettant une tenue efficace de classes virtuelles en temps réel.

Cependant, la mise en œuvre de la technologie WebRTC a été un défi technique majeur tout au

long du processus de développement. Le recours à cette technologie nécessite une compréhension approfondie de son fonctionnement, ainsi que des compétences en programmation avancées pour l'adapter à nos besoins spécifiques. Cela a été rendu encore plus complexe par le fait que WebRTC est une technologie relativement nouvelle, qui ne cesse de se développer.

En outre, l'utilisation de code Open Source dans l'application a été également un facteur clé. Il a fallu comprendre le fonctionnement du code et le modifier pour répondre aux exigences de notre projet. Cela a nécessité un travail minutieux, impliquant une analyse approfondie du code existant, ainsi que des compétences en programmation avancées pour le modifier efficacement.

Malgré ces défis et bien d'autres, notre prototype est en place. Le choix du moteur Mediasoup pour les besoins de relais a été un choix judicieux. Ce moteur supporte un grand nombre de participants et intègre un concept de routeur pouvant supporter jusqu'à 500 personnes. Les routeurs peuvent également être connectés entre eux, offrant une grande évolutivité et une flexibilité pour répondre aux besoins futurs de l'application. Le choix de s'abstenir de diffuser les flux vidéo permet également d'alléger le trafic et va permettre le support d'un grand nombre.

Outre cela, si l'application est déployée dans un réseau local, il est possible d'éviter totalement les coûts liés à Internet. Les usagers proches du point de connectivité disposent d'un accès qui ne requiert pas du tout Internet. Plus la couverture du réseau est grande, plus facile il est de donner accès aux utilisateurs sans que ces derniers ne dépensent dans la consommation de forfaits Internet, ce qui engendre ainsi des économies, sur le plan financier.

Le développement de StudX a été une expérience enrichissante. Bien que des défis aient été rencontrés tout au long du processus, l'application fonctionne maintenant et répond aux objectifs initialement fixés.

Conclusion

Après la conception et le développement de l'application, il est clair que le prototype répond aux besoins identifiés et remplit les objectifs fixés pour ce projet. Les tests effectués ont démontré la fiabilité et la performance de l'application, ainsi que sa capacité à gérer les fonctionnalités attendues. Cependant, cela ne signifie pas qu'elle est parfaite, car de nombreux aspects peuvent être encore améliorés et développés pour répondre à des besoins futurs ou pour satisfaire des demandes plus spécifiques.

Conclusion Générale

L'évolution des méthodes d'enseignement implique l'utilisation croissante des technologies de l'information et de la communication. Cette tendance est motivée par la nécessité de s'adapter aux nouveaux besoins d'apprentissage et de compenser les insuffisances logistiques et financières auxquelles font face les établissements d'enseignement supérieur. Dans ce contexte, le projet auquel nous avons contribué visait à fournir un cadre moderne de communication en temps réel, permettant d'explorer de nouvelles possibilités en matière de formation virtuelle. Nous sommes convaincus que l'application que nous avons développée ouvre la voie à une large gamme d'opportunités en matière d'exploitation des classes virtuelles, et nous espérons que notre travail sera une contribution utile à l'ensemble de la communauté éducative. Bien qu'ayant atteint ses objectifs initiaux et répondu aux besoins identifiés, il reste encore de nombreuses possibilités d'extension pour en faire un outil encore plus puissant et adapté aux besoins évolutifs de l'enseignement en ligne. Il est donc envisageable d'explorer des pistes de développement pour étendre l'application au-delà de ses fonctions actuelles.

Perspectives

Le prototype StudX propose une variété de fonctionnalités intéressantes pour la tenue de classes virtuelles. Toutefois, il présente certaines limites, outre les choix délibérés de conception comme l'absence de flux vidéo.

Bien que des règles d'accessibilité basiques aient été prises en compte, elles ne répondent pas entièrement aux besoins des personnes malentendantes, qui ne peuvent pas bénéficier des échanges vocaux entre les participants. Pour remédier à cela, il serait envisageable d'intégrer un modèle de Machine Learning pour la conversion des signaux audio en gestes du langage des signes.

Par ailleurs, dans le cadre d'un prototype, les fonctionnalités sont plutôt restreintes. On pourrait ajouter ou améliorer des fonctions comme la persistance de la messagerie instantanée ou encore la gestion des utilisateurs. L'enregistrement des sessions pour un usage ultérieur, par exemple, est une fonctionnalité dont l'implémentation a démarré dans le but de permettre une amélioration de l'expérience utilisateur.

