

Développement d'un système intelligent d'analyse des données de puits pétroliers

Intégration du Mud Logging, du Well Logging et des paramètres pétrophysiques

Rapport académique

Réalisé par :

- Sidi Mohamed Vadel Beye (MIAGE)
- Mohamed Sidi Mohamed med salem (DAII)
- Sidi Mohamed Lemin Ahmed Henoun (DAII)
- Abdellahi Cheikh Ahmed El Imam (IPG)
- M'Hamed Mohamed Rahel (Géologie)

Année universitaire : 2025–2026

Résumé

Ce rapport présente un projet appliqué visant la conception d'une application web pour l'analyse des données de puits pétroliers, reposant sur une approche interdisciplinaire combinant l'informatique, l'ingénierie pétrole et gaz et la géologie.

Table des matières

Résumé	1
Introduction Générale	6
1 Présentation générale du projet	8
1.1 Contexte et problématique	8
1.2 Objectifs du projet	8
1.3 Portée et limites du projet	9
1.4 Caractère interdisciplinaire du projet	10
2 Analyse et spécification des besoins	11
2.1 Analyse du domaine pétrolier	11
2.2 Analyse des données de puits pétroliers	12
2.2.1 Analyse par type de données	12
2.2.2 Analyse par usage dans l'application	12
2.3 Identification des utilisateurs	13
2.3.1 Utilisateurs techniques	13
2.3.2 Utilisateurs à accès simplifié	14
2.4 Besoins fonctionnels	14
2.4.1 Liste des besoins fonctionnels	14
2.4.2 Tableau récapitulatif des besoins fonctionnels	15
2.5 Besoins non fonctionnels	15
2.5.1 Liste des besoins non fonctionnels	15
2.5.2 Tableau récapitulatif des besoins non fonctionnels	16
3 Organisation du projet et méthodologie	17
3.1 Présentation de l'équipe	17
3.2 Formations en ligne (MOOC) suivies par les membres de l'équipe	18
3.3 Formations en ligne (MOOC) suivies par les membres de l'équipe	18
3.3.1 Abdellahi Cheikh Ahmed El Imam (Ingénierie Pétrole et Gaz)	18
3.3.2 Mohamed Sidi Mohamed (DAII)	18
3.3.3 Sidi Mohamed Vadel Beye (MIAGE)	18

3.3.4	Sidi Mohamed Lemmin Ahmed Henoun (DAII)	19
3.3.5	M'Hamed Mohamed Rahel (Géologie)	19
3.3.6	Apport des formations au projet	19
3.4	Rôle de chaque spécialité	19
3.4.1	Rôle de la spécialité Informatique	20
3.4.2	Rôle de la spécialité Ingénierie Pétrole et Gaz	20
3.4.3	Rôle de la spécialité Géologie	20
3.4.4	Tableau récapitulatif des rôles	20
3.5	Méthodologie de développement adoptée	20
3.5.1	Phase d'analyse	21
3.5.2	Phase de conception	21
3.5.3	Phase de développement	21
3.5.4	Phase de tests et de validation	22
3.6	Planification et répartition des tâches	22
3.6.1	Tableau de répartition des tâches	22
4	Conception du système	24
4.1	Architecture générale de l'application	24
4.1.1	Vue conceptuelle de l'architecture	24
4.1.2	Schéma logique de l'architecture	24
4.1.3	Description des couches	25
4.2	Architecture logicielle	26
4.2.1	Couche de présentation	26
4.2.2	Couche applicative	26
4.2.3	Couche métier	27
4.2.4	Couche d'accès aux données	27
4.3	Modélisation fonctionnelle	27
4.4	Modélisation des données	28
4.4.1	Principales entités du système	28
4.4.2	Relations entre les entités	29
4.5	Diagrammes UML	29
4.5.1	Diagramme de cas d'utilisation	29
4.5.2	Diagramme de classes	30
4.5.3	Diagramme de séquence	31
5	Développement de l'application web	33
5.1	Choix technologiques	33
5.1.1	Vue d'ensemble des technologies utilisées	33
5.1.2	Technologies du front-end	33

5.1.3	Technologies du back-end	34
5.1.4	Technologies de stockage des données	34
5.1.5	Technologies d'analyse et de traitement des données	34
5.1.6	Outils de développement et de collaboration	35
5.2	Architecture Front-end	35
5.2.1	Organisation générale du front-end	36
5.2.2	Composants principaux de l'interface	36
5.2.3	Schéma conceptuel de l'architecture Front-end	36
5.3	Architecture Back-end	37
5.3.1	Organisation générale du back-end	37
5.3.2	Gestion des requêtes et des services API	38
5.3.3	Logique métier et traitement des données	38
5.3.4	Accès aux données et sécurité	38
5.3.5	Schéma conceptuel de l'architecture Back-end	38
5.4	Gestion des données	39
5.4.1	Sources et types de données	39
5.4.2	Processus d'importation des données	40
5.4.3	Stockage et organisation des données	40
5.4.4	Accès et exploitation des données	40
5.4.5	Schéma conceptuel de gestion des données	40
5.5	Sécurité et authentification	40
5.5.1	Authentification des utilisateurs	41
5.5.2	Gestion des droits d'accès	41
5.5.3	Protection des données	41
5.5.4	Limites et perspectives de sécurité	41
6	Intégration de l'analyse intelligente des données	42
6.1	Sources et préparation des données	42
6.1.1	Sources des données de puits	42
6.1.2	Nettoyage et validation des données	42
6.1.3	Structuration et normalisation des données	43
6.1.4	Préparation des données pour l'analyse	43
6.2	Analyse et interprétation des données de puits	43
6.2.1	Analyse des données de mud logging	43
6.2.2	Analyse des données de well logging	44
6.2.3	Interprétation des paramètres pétrophysiques	44
6.2.4	Techniques d'analyse appliquées	44
6.3	Apport des techniques intelligentes	44
6.3.1	Assistance à l'analyse des données	45

6.3.2	Aide à l'interprétation des données	45
6.3.3	Intégration dans l'application web	45
6.3.4	Limites et complémentarité avec l'expertise humaine	45
6.4	Résultats obtenus	46
6.4.1	Résultats liés à l'analyse des données de puits	46
6.4.2	Résultats de l'analyse assistée	47
6.4.3	Tableau synthétique des résultats	47
6.4.4	Discussion des résultats	47
Conclusion Générale		49
Bibliographie		50

Introduction Générale

L'évolution rapide des technologies numériques, et plus particulièrement de l'intelligence artificielle, a profondément transformé la manière dont les données sont collectées, analysées et exploitées dans de nombreux domaines scientifiques et techniques. Aujourd'hui, ces technologies permettent de développer des applications informatiques capables de traiter des volumes importants de données et d'en extraire des informations utiles à la prise de décision.

Dans ce contexte, le présent projet a été réalisé dans le cadre d'une formation en intelligence artificielle ayant réuni des étudiants issus de différentes spécialités. Cette formation avait pour objectif de développer une approche appliquée de l'IA, en mettant l'accent sur l'utilisation des outils informatiques pour la résolution de problématiques concrètes à travers le développement de projets pratiques.

Parmi les thématiques proposées, notre équipe a choisi de travailler sur le développement d'une application web dédiée à l'analyse des données de puits pétroliers. Ce choix s'explique par la complexité et la richesse des données issues du domaine pétrolier, ainsi que par leur proximité avec les spécialités des membres du groupe, à savoir l'informatique, l'ingénierie pétrole et gaz, et la géologie.

Les données de puits pétroliers, telles que celles issues du mud logging, du well logging et des paramètres pétrophysiques, jouent un rôle essentiel dans la compréhension des formations géologiques et dans l'évaluation des réservoirs. Leur exploitation efficace nécessite une intégration cohérente entre les connaissances métier et les outils informatiques, notamment à travers des applications web permettant la centralisation, la visualisation et l'analyse des données.

Le projet présenté dans ce rapport adopte une approche appliquée visant à concevoir une application web complète intégrant les différentes étapes du cycle de développement logiciel, depuis l'analyse des besoins jusqu'à la conception et l'implémentation d'un système d'analyse des données de puits. L'intelligence artificielle y est utilisée comme un outil d'aide à l'analyse et à l'interprétation des données, sans se substituer à l'expertise des domaines pétrolier et géologique.

Ce rapport est structuré de manière progressive. Après une présentation générale du projet et de son organisation, une analyse des besoins et des données de puits est proposée. Les étapes de conception et de développement de l'application web sont ensuite détaillées,

suivies de l'intégration des mécanismes d'analyse intelligente. Enfin, une conclusion générale synthétise le travail réalisé et présente les perspectives d'amélioration du système proposé.

Chapitre 1 Présentation générale du projet

1.1 Contexte et problématique

L'industrie pétrolière moderne repose sur l'exploitation d'un volume important de données hétérogènes acquises tout au long du cycle de forage et d'évaluation des puits. Ces données proviennent de différentes sources, notamment le mud logging, le well logging et les paramètres pétrophysiques, et jouent un rôle central dans la compréhension des formations géologiques et dans l'évaluation des réservoirs.

Cependant, ces données sont souvent dispersées, stockées sous des formats variés et analysées à l'aide d'outils séparés, ce qui complique leur exploitation globale. Cette fragmentation rend l'analyse moins efficace et limite la capacité des ingénieurs et des géologues à obtenir une vision cohérente et synthétique de l'état du puits.

Par ailleurs, l'évolution des technologies informatiques et des applications web a permis le développement de plateformes capables de centraliser, traiter et visualiser des données complexes de manière interactive. Dans ce contexte, les applications web constituent un support adapté pour l'intégration des données de puits pétroliers, en offrant des interfaces accessibles, évolutives et faciles à utiliser.

La problématique principale abordée dans ce projet est donc la suivante : *comment concevoir une application web capable d'intégrer et d'analyser efficacement les différentes données de puits pétroliers afin d'aider à leur interprétation et à la prise de décision technique ?*

Cette problématique nécessite une approche interdisciplinaire combinant des compétences en informatique pour la conception et le développement de l'application, en ingénierie pétrole et gaz pour la compréhension des données opérationnelles, et en géologie pour l'interprétation des résultats obtenus.

1.2 Objectifs du projet

L'objectif principal de ce projet est de concevoir et de développer une application web dédiée à l'analyse des données de puits pétroliers, permettant l'intégration, la visualisation et l'exploitation de données issues de différentes sources telles que le mud logging, le well logging et les paramètres pétrophysiques.

D'un point de vue technique, le projet vise à :

- concevoir une architecture cohérente pour une application web intégrant des données de puits hétérogènes ;
- centraliser les données de mud logging, de well logging et les paramètres pétrophysiques dans une plateforme unique ;
- proposer des fonctionnalités de visualisation et d'analyse facilitant l'interprétation des données de puits ;
- mettre en œuvre des mécanismes d'analyse assistée afin de valoriser les données collectées et d'aider à la prise de décision technique.

D'un point de vue pédagogique, ce projet a pour objectifs de :

- appliquer concrètement les connaissances acquises lors de la formation en intelligence artificielle et en développement informatique ;
- développer des compétences en conception et en développement d'applications web complètes ;
- favoriser le travail en équipe dans un contexte interdisciplinaire ;
- renforcer la capacité à analyser un problème réel et à proposer une solution informatique structurée et cohérente.

Ainsi, ce projet constitue à la fois un support d'apprentissage appliqué et une première approche de la conception de systèmes informatiques destinés à l'analyse de données complexes issues du domaine pétrolier.

1.3 Portée et limites du projet

Le présent projet s'inscrit dans une démarche appliquée visant le développement d'une application web pour l'analyse des données de puits pétroliers. La portée du projet couvre principalement l'intégration et l'exploitation de données issues du mud logging, du well logging ainsi que des paramètres pétrophysiques de base.

L'application développée permet de centraliser ces données au sein d'une plateforme unique, d'en assurer la visualisation et de proposer des outils d'analyse facilitant leur interprétation. Le projet se concentre sur la conception de l'architecture du système, la structuration des données, ainsi que le développement des fonctionnalités essentielles de l'application web.

Toutefois, certaines limites ont été volontairement définies afin de rester dans un cadre réaliste et maîtrisé. Le projet ne vise pas la mise en production d'un système industriel à grande échelle, ni l'intégration de données en temps réel issues directement des sites de forage. De même, les modèles d'analyse intelligente utilisés restent à un niveau exploratoire et illustratif, sans prétention à une optimisation industrielle avancée.

Par ailleurs, l'interprétation géologique et pétrophysique proposée dans le cadre de l'application repose sur des données représentatives et des hypothèses simplifiées, dans

un objectif pédagogique. Les aspects réglementaires, économiques et opérationnels liés à l'exploitation industrielle des puits pétroliers ne sont pas abordés dans ce projet.

Ces choix permettent de définir un périmètre clair pour le projet, en cohérence avec les objectifs techniques et pédagogiques fixés, tout en mettant en évidence les perspectives d'amélioration possibles dans des travaux futurs.

1.4 Caractère interdisciplinaire du projet

Le projet présenté dans ce rapport repose sur une approche interdisciplinaire combinant les compétences de l'informatique, de l'ingénierie pétrole et gaz et de la géologie. Cette complémentarité constitue un élément central dans la conception et la réalisation de l'application web développée.

La contribution de la spécialité informatique concerne principalement la conception de l'architecture logicielle, le développement de l'application web, la gestion des données ainsi que la mise en place des fonctionnalités de visualisation et d'analyse. Les étudiants en informatique assurent également l'intégration des différents composants du système et la cohérence globale de la solution proposée.

La spécialité ingénierie pétrole et gaz intervient dans la compréhension des données opérationnelles de puits, notamment celles issues du mud logging et du well logging. Cette expertise permet de définir les paramètres pertinents à analyser, de donner un sens technique aux données exploitées et de valider les résultats produits par l'application du point de vue métier.

La spécialité géologie joue un rôle essentiel dans l'interprétation des formations géologiques et des paramètres pétrophysiques. Elle permet de relier les données numériques à la réalité géologique du sous-sol, d'assurer la cohérence des analyses et d'apporter une interprétation qualitative des résultats obtenus.

L'interaction entre ces trois disciplines permet de développer une solution cohérente et réaliste, dans laquelle l'application web constitue un outil d'aide à l'analyse au service de l'expertise pétrolière et géologique. Cette approche favorise également le travail collaboratif et l'échange de connaissances entre les membres de l'équipe, renforçant ainsi la dimension pédagogique et appliquée du projet.

Chapitre 2 Analyse et spécification des besoins

2.1 Analyse du domaine pétrolier

Le domaine pétrolier se caractérise par un environnement complexe dans lequel les décisions techniques reposent sur l'analyse et l'interprétation d'un grand volume de données issues du sous-sol. Ces données sont acquises tout au long du cycle de vie du puits, depuis la phase de forage jusqu'à l'évaluation et l'exploitation des réservoirs.

Parmi les principales sources d'information figurent les données de mud logging, qui fournissent des indications en temps réel sur les formations traversées, ainsi que les données de well logging, permettant une analyse plus détaillée des propriétés physiques et pétrophysiques des roches. Ces données sont complétées par des paramètres pétrophysiques tels que la porosité, la perméabilité et la saturation, qui jouent un rôle essentiel dans l'évaluation du potentiel réservoir.

L'exploitation efficace de ces données nécessite une compréhension approfondie du contexte pétrolier, notamment des objectifs de forage, des caractéristiques géologiques des formations et des contraintes opérationnelles. Dans la pratique, ces données sont souvent analysées à l'aide d'outils spécialisés et de méthodes séparées, ce qui peut limiter leur exploitation conjointe et globale.

Dans le cadre de ce projet, le domaine pétrolier est considéré du point de vue de l'analyse des données. L'accent est mis sur la manière dont les informations issues du mud logging, du well logging et des paramètres pétrophysiques peuvent être structurées, centralisées et exploitées au sein d'une application web unique. Cette approche permet de fournir une vision synthétique des données de puits et de faciliter leur interprétation par les différents acteurs techniques.

Ainsi, l'analyse du domaine pétrolier constitue une étape essentielle pour définir les besoins fonctionnels du système à développer, en identifiant les types de données à traiter, leur rôle dans l'évaluation des puits et les interactions attendues entre les différents utilisateurs de l'application.

2.2 Analyse des données de puits pétroliers

Les données de puits pétroliers constituent la base informationnelle du système développé dans ce projet. Elles sont caractérisées par leur diversité, leur volume et leur hétérogénéité, ce qui nécessite une analyse approfondie avant leur intégration dans l'application web.

Afin de mieux structurer cette analyse, les données de puits sont étudiées selon deux axes complémentaires : leur classification par type de données, puis leur utilisation fonctionnelle au sein de l'application.

2.2.1 Analyse par type de données

Les principales catégories de données de puits considérées dans ce projet sont les suivantes :

Données de mud logging

Les données de mud logging sont acquises principalement lors de la phase de forage. Elles incluent des informations relatives à la lithologie, aux déblais de forage, aux gaz détectés ainsi qu'aux paramètres de forage. Ces données sont généralement collectées de manière continue et constituent une source d'information importante pour le suivi opérationnel du puits.

Données de well logging

Les données de well logging regroupent les mesures effectuées à l'aide d'outils de diagraphie. Elles comprennent notamment les logs Gamma Ray, de résistivité, de densité et de neutron. Ces données permettent une analyse détaillée des propriétés physiques et pétrophysiques des formations traversées et sont généralement organisées sous forme de courbes en fonction de la profondeur.

Paramètres pétrophysiques

Les paramètres pétrophysiques, tels que la porosité, la perméabilité et la saturation, sont soit mesurés, soit estimés à partir des données de well logging. Ils jouent un rôle essentiel dans l'évaluation du potentiel réservoir et constituent des indicateurs clés pour l'interprétation des données de puits.

2.2.2 Analyse par usage dans l'application

Du point de vue de l'application web développée, les données de puits sont analysées en fonction de leur rôle fonctionnel au sein du système.

Données destinées à la visualisation

Certaines données sont principalement utilisées pour la visualisation, notamment les logs de puits et les paramètres pétrophysiques. Elles sont représentées sous forme de graphiques et de tableaux afin de faciliter l'interprétation et la comparaison des informations le long du puits.

Données destinées à l'analyse

D'autres données sont exploitées dans des modules d'analyse visant à extraire des informations synthétiques ou à mettre en évidence des tendances. Ces données peuvent être combinées afin de fournir une interprétation globale du puits.

Données destinées au stockage et à la gestion

Enfin, l'ensemble des données de puits doit être structuré et stocké de manière cohérente afin de permettre leur réutilisation, leur mise à jour et leur consultation au sein de l'application. Cette organisation des données constitue un élément clé pour assurer la performance et l'évolutivité du système développé.

Cette double analyse permet de mieux comprendre la nature des données de puits pétroliers et de définir les besoins fonctionnels et techniques nécessaires à leur intégration efficace dans l'application web.

2.3 Identification des utilisateurs

L'application web développée dans le cadre de ce projet est destinée à différents types d'utilisateurs, présentant des besoins et des niveaux d'interaction variés. L'identification claire de ces profils est une étape essentielle afin de définir les fonctionnalités du système et d'adapter les interfaces proposées.

2.3.1 Utilisateurs techniques

Les utilisateurs techniques regroupent principalement les ingénieurs et les étudiants ayant une formation ou un intérêt dans les domaines du pétrole et gaz, de la géologie ou de l'analyse des données. Ces utilisateurs sont amenés à exploiter les données de puits de manière approfondie dans le cadre de l'analyse et de l'interprétation.

Pour ce profil, l'application doit permettre :

- l'accès détaillé aux données de mud logging, de well logging et aux paramètres pétrophysiques ;
- la visualisation avancée des données sous forme de graphiques et de tableaux ;
- l'exploration et la comparaison des données le long du puits ;

- l'utilisation de fonctionnalités d'analyse facilitant l'interprétation des données de puits.

2.3.2 Utilisateurs à accès simplifié

Les utilisateurs à accès simplifié correspondent à des profils ayant besoin d'une consultation globale des données, sans nécessairement intervenir dans leur analyse détaillée. Il peut s'agir, par exemple, d'étudiants débutants ou de personnes souhaitant accéder à une vue synthétique des informations disponibles.

Pour ce type d'utilisateur, l'application doit offrir :

- une interface intuitive permettant une prise en main rapide ;
- un accès en lecture seule aux données essentielles du puits ;
- des visualisations simplifiées mettant en évidence les informations clés ;
- une navigation claire entre les différentes sections de l'application.

La distinction entre ces profils d'utilisateurs permet de définir des niveaux d'accès différents et d'adapter les fonctionnalités de l'application en fonction des besoins réels. Cette approche contribue à améliorer l'ergonomie du système et à garantir une utilisation efficace de l'application web développée.

2.4 Besoins fonctionnels

Les besoins fonctionnels définissent l'ensemble des fonctionnalités que l'application web doit offrir afin de répondre aux attentes des différents types d'utilisateurs identifiés précédemment. Ces besoins sont directement déduits de l'analyse du domaine pétrolier, des types de données de puits à exploiter et des objectifs du projet.

L'application développée doit permettre la gestion, l'analyse et la visualisation des données de puits pétroliers de manière structurée et intuitive. Les fonctionnalités proposées doivent s'adapter aux profils des utilisateurs, en distinguant les utilisateurs techniques des utilisateurs à accès simplifié.

Les principaux besoins fonctionnels du système sont présentés ci-dessous.

2.4.1 Liste des besoins fonctionnels

- permettre l'importation et la gestion des données de puits pétroliers ;
- offrir des fonctionnalités de visualisation des données de mud logging, de well logging et des paramètres pétrophysiques ;
- permettre la consultation des données selon différents niveaux d'accès ;
- proposer des outils d'analyse facilitant l'interprétation des données ;
- assurer la navigation entre les différentes sections de l'application ;
- permettre la gestion des utilisateurs et des droits d'accès.

2.4.2 Tableau récapitulatif des besoins fonctionnels

Fonctionnalité	Type d'utilisateur	Description
Gestion des données	Utilisateur technique	Importation, organisation et consultation des données de puits pétroliers.
Visualisation des logs	Tous les utilisateurs	Affichage des logs de puits et des paramètres pétrophysiques sous forme graphique.
Analyse des données	Utilisateur technique	Exploitation des données à l'aide d'outils d'analyse et de corrélation.
Accès en lecture seule	Utilisateur à accès simplifié	Consultation des données essentielles sans modification possible.
Gestion des utilisateurs	Administrateur	Création des comptes et attribution des droits d'accès.
Navigation et ergonomie	Tous les utilisateurs	Accès structuré et intuitif aux différentes fonctionnalités de l'application.

TABLE 2.1 – Besoins fonctionnels de l'application web

Ces besoins fonctionnels constituent la base de la conception et du développement de l'application web. Ils serviront de référence pour la définition de l'architecture du système et pour la validation des fonctionnalités implémentées.

2.5 Besoins non fonctionnels

Les besoins non fonctionnels décrivent les contraintes et les critères de qualité que l'application web doit respecter afin de garantir une utilisation fiable, sécurisée et performante. Contrairement aux besoins fonctionnels, ils ne décrivent pas ce que fait le système, mais comment il doit se comporter.

Dans le cadre de ce projet, les besoins non fonctionnels ont été définis en tenant compte de la nature académique de l'application, des profils des utilisateurs et des contraintes techniques liées à l'exploitation des données de puits pétroliers.

Les principaux besoins non fonctionnels concernent la performance, la sécurité, l'ergonomie, la fiabilité et l'évolutivité du système.

2.5.1 Liste des besoins non fonctionnels

- **Performance** : l'application doit permettre un chargement rapide des données et des visualisations, même en présence de volumes de données importants.
- **Sécurité** : l'accès à l'application doit être contrôlé par un système d'authentification et de gestion des droits afin de protéger les données.

- **Ergonomie** : l'interface utilisateur doit être intuitive, claire et facile à prendre en main pour les différents profils d'utilisateurs.
- **Fiabilité** : le système doit assurer la cohérence et l'intégrité des données stockées et affichées.
- **Évolutivité** : l'architecture de l'application doit permettre l'ajout futur de nouvelles fonctionnalités ou de nouveaux types de données.

2.5.2 Tableau récapitulatif des besoins non fonctionnels

Critère	Description	Priorité
Performance	Temps de réponse acceptable lors de la consultation et de la visualisation des données de puits.	Élevée
Sécurité	Authentification des utilisateurs et gestion des droits d'accès aux fonctionnalités et aux données.	Élevée
Ergonomie	Interface claire, navigation intuitive et facilité d'utilisation pour tous les profils d'utilisateurs.	Moyenne
Fiabilité	Cohérence des données, réduction des erreurs d'affichage et stabilité de l'application.	Élevée
Évolutivité	Possibilité d'intégrer de nouveaux modules ou types de données à l'avenir.	Moyenne

TABLE 2.2 – Besoins non fonctionnels de l'application web

La prise en compte de ces besoins non fonctionnels est essentielle pour assurer la qualité globale de l'application développée et pour garantir son adéquation avec les objectifs techniques et pédagogiques du projet.

Chapitre 3 Organisation du projet et méthodologie

3.1 Présentation de l'équipe

Le projet présenté dans ce rapport a été réalisé par une équipe composée de cinq étudiants issus de spécialités différentes, ce qui a permis d'adopter une approche interdisciplinaire dans la conception et le développement de l'application web d'analyse des données de puits pétroliers.

L'équipe est constituée de trois étudiants en informatique, d'un étudiant en ingénierie pétrole et gaz et d'un étudiant en géologie. Cette diversité de profils a permis de répartir les tâches en fonction des compétences de chacun, tout en assurant une collaboration étroite entre les différentes spécialités.

Les étudiants en informatique ont été principalement chargés de la conception de l'architecture logicielle de l'application web, du développement des interfaces utilisateur et de la mise en œuvre des fonctionnalités liées à la gestion, à la visualisation et à l'analyse des données. Ils ont également assuré l'intégration des différents modules du système et la cohérence globale de la solution développée.

L'étudiant en ingénierie pétrole et gaz a contribué à la compréhension des données opérationnelles de puits, en particulier celles issues du mud logging et du well logging. Son rôle a consisté à identifier les paramètres techniques pertinents, à apporter une expertise métier pour l'analyse des données et à valider les résultats produits par l'application du point de vue pétrolier.

L'étudiant en géologie a apporté son expertise dans l'interprétation géologique et pétrophysique des données de puits. Il a participé à l'analyse des formations géologiques, à la compréhension des paramètres pétrophysiques et à la cohérence géologique des résultats affichés par l'application.

Cette organisation de l'équipe a permis de tirer parti des compétences spécifiques de chaque membre tout en favorisant le travail collaboratif. La complémentarité des profils a joué un rôle clé dans la réussite du projet et dans l'atteinte des objectifs techniques et pédagogiques fixés.

3.2 Formations en ligne (MOOC) suivies par les membres de l'équipe

Dans le cadre du projet, chaque membre de l'équipe a suivi une formation en ligne (MOOC) en lien avec sa spécialité et avec les besoins techniques du système à développer. Ces formations ont permis de renforcer les compétences individuelles et d'assurer une meilleure contribution de chaque étudiant au projet collectif.

Les plateformes de formation en ligne ont été choisies pour la qualité de leurs contenus pédagogiques et leur reconnaissance académique. Les formations suivies couvrent des domaines variés tels que l'ingénierie pétrolière, le développement logiciel, l'analyse des données, la cybersécurité et les systèmes d'information géographique.

3.3 Formations en ligne (MOOC) suivies par les membres de l'équipe

Dans le cadre du projet, chaque membre de l'équipe a suivi une formation en ligne (MOOC) en lien direct avec sa spécialité et avec les besoins techniques du système à développer. Ces formations ont permis de renforcer les compétences individuelles et de favoriser une meilleure contribution de chaque étudiant au projet collectif.

3.3.1 Abdellahi Cheikh Ahmed El Imam (Ingénierie Pétrole et Gaz)

- **Formation** : Oil and Gas
- **Plateforme** : Coursera
- **Lien** : <https://www.coursera.org/learn/oilandgas>

Cette formation a permis de renforcer les connaissances liées au domaine pétrolier et de mieux comprendre les données de puits exploitées dans le cadre du projet.

3.3.2 Mohamed Sidi Mohamed (DAII)

- **Formation** : Spring Boot
- **Plateforme** : FUN MOOC
- **Lien** : <https://www.fun-mooc.fr/fr/cours/java-ee-spring-pret-a-lemploi/>

Cette formation a contribué au développement des compétences en back-end et à la compréhension des architectures applicatives utilisées dans le projet.

3.3.3 Sidi Mohamed Vadel Beye (MIAGE)

- **Formation** : Data Analysis
- **Plateforme** : Coursera

- **Lien** : <https://www.coursera.org/professional-certificates/microsoft-genai-for-data-analysis>

Cette formation a permis d'approfondir les compétences en analyse et en traitement des données, directement exploitées dans l'analyse des données de puits.

3.3.4 Sidi Mohamed Lemin Ahmed Henoun (DAII)

- **Formation** : Cyber Security
- **Plateforme** : Udemy
- **Lien** : <https://www.udemy.com/course/cyber-security-comprehensive-course/>

Cette formation a renforcé les connaissances liées à la sécurité des systèmes informatiques, utiles pour la protection des données et la gestion des accès au sein de l'application.

3.3.5 M'Hamed Mohamed Rahel (Géologie)

- **Formation** : GIS Mapping
- **Plateforme** : Coursera
- **Lien** : <https://www.coursera.org/learn/introduction-gis-mapping>

Cette formation a permis de développer des compétences en systèmes d'information géographique, utiles pour l'analyse spatiale et l'interprétation géologique des données de puits.

3.3.6 Apport des formations au projet

Les connaissances acquises à travers ces formations ont contribué directement au développement du projet. Elles ont permis d'améliorer la compréhension du domaine pétrolier, de renforcer les compétences en développement web et en analyse des données, d'intégrer des notions de sécurité informatique et d'enrichir l'interprétation géologique des données de puits.

Cette complémentarité entre formation académique et apprentissage en ligne a joué un rôle clé dans la réussite du projet et dans l'atteinte des objectifs techniques et pédagogiques fixés.

3.4 Rôle de chaque spécialité

La réalisation de ce projet repose sur la collaboration entre plusieurs spécialités, chacune apportant une contribution spécifique et complémentaire. Cette répartition des rôles permet de traiter le problème de manière globale et cohérente, en tenant compte à la fois des aspects informatiques, pétroliers et géologiques.

3.4.1 Rôle de la spécialité Informatique

La spécialité informatique joue un rôle central dans la conception et la mise en œuvre de l'application web. Elle est principalement responsable de la structuration du système, du développement logiciel et de l'intégration des différentes fonctionnalités.

Les principales contributions de cette spécialité concernent la conception de l'architecture logicielle, le développement du front-end et du back-end de l'application, la gestion des données, ainsi que la mise en place des outils de visualisation et d'analyse. Les étudiants en informatique assurent également la cohérence technique globale du système et son bon fonctionnement.

3.4.2 Rôle de la spécialité Ingénierie Pétrole et Gaz

La spécialité ingénierie pétrole et gaz apporte l'expertise métier nécessaire à la compréhension des données de puits. Elle intervient dans l'identification des paramètres techniques pertinents issus du mud logging et du well logging, ainsi que dans l'interprétation des données du point de vue opérationnel.

Cette spécialité permet de donner un sens technique aux données exploitées par l'application, de définir les besoins liés à l'analyse des puits et de valider les résultats produits par le système en cohérence avec les pratiques du domaine pétrolier.

3.4.3 Rôle de la spécialité Géologie

La spécialité géologie joue un rôle clé dans l'interprétation des formations géologiques et des paramètres pétrophysiques. Elle contribue à la compréhension de la nature des roches traversées, à l'analyse de la porosité, de la perméabilité et de la saturation, ainsi qu'à la cohérence géologique des résultats affichés.

L'apport de la géologie permet de relier les données numériques à la réalité du sous-sol, renforçant ainsi la pertinence et la crédibilité des analyses réalisées au sein de l'application web.

3.4.4 Tableau récapitulatif des rôles

La répartition claire des rôles entre les différentes spécialités permet d'assurer une collaboration efficace et de garantir que chaque aspect du projet est traité par des compétences adaptées. Cette organisation contribue directement à la qualité et à la cohérence de la solution développée.

3.5 Méthodologie de développement adoptée

Le développement de l'application web d'analyse des données de puits pétroliers a été réalisé selon une méthodologie classique et structurée, adaptée au contexte académique

Spécialité	Principales responsabilités
Informatique	Conception de l'architecture logicielle, développement de l'application web, gestion des données, visualisation et intégration des modules.
Ingénierie Pétrole et Gaz	Analyse des données de mud logging et de well logging, identification des paramètres techniques, validation métier des résultats.
Géologie	Interprétation géologique et pétrophysique, analyse des formations, cohérence géologique des résultats.

TABLE 3.1 – Rôle de chaque spécialité dans le projet

et aux objectifs du projet. Cette méthodologie repose sur une progression logique des différentes étapes du cycle de développement logiciel, depuis l'analyse des besoins jusqu'à la validation du système développé.

Le choix de cette approche permet d'assurer une compréhension claire du problème à résoudre, une conception cohérente de la solution et une mise en œuvre maîtrisée des fonctionnalités prévues. Elle facilite également la coordination entre les membres de l'équipe issus de différentes spécialités.

La méthodologie adoptée se décompose en plusieurs phases successives :

3.5.1 Phase d'analyse

Cette phase a consisté à étudier le domaine pétrolier, à analyser les données de puits pétroliers et à identifier les besoins fonctionnels et non fonctionnels du système. Elle a permis de définir les objectifs du projet, les profils des utilisateurs et les contraintes techniques à prendre en compte lors du développement de l'application web.

3.5.2 Phase de conception

La phase de conception a porté sur l'élaboration de l'architecture générale de l'application web, la modélisation des données et la définition des principaux composants du système. Cette étape a permis de traduire les besoins identifiés en solutions techniques, tout en assurant la cohérence entre les différentes parties de l'application.

3.5.3 Phase de développement

Durant cette phase, les différentes fonctionnalités de l'application web ont été implémentées conformément aux choix de conception effectués. Le développement a porté sur la mise en place des interfaces utilisateur, la gestion des données et l'intégration des modules d'analyse, en veillant à respecter les objectifs définis précédemment.

3.5.4 Phase de tests et de validation

La phase de tests a permis de vérifier le bon fonctionnement de l'application, la cohérence des résultats obtenus et la conformité du système par rapport aux besoins exprimés. Des tests fonctionnels ont été réalisés afin de s'assurer de la fiabilité et de la stabilité de l'application avant sa validation finale.

Cette méthodologie structurée a permis de conduire le projet de manière progressive et maîtrisée, tout en garantissant une bonne collaboration entre les membres de l'équipe et une traçabilité claire des différentes étapes du développement.

3.6 Planification et répartition des tâches

La planification du projet et la répartition des tâches ont été établies en tenant compte des compétences de chaque membre de l'équipe et des différentes phases de la méthodologie de développement adoptée. Cette organisation a permis d'assurer une répartition équilibrée du travail, tout en favorisant la collaboration entre les différentes spécialités.

Chaque membre de l'équipe a été impliqué dans plusieurs phases du projet, avec une responsabilité principale définie en fonction de son domaine de spécialisation. Cette approche a permis de garantir la cohérence globale du projet et d'assurer une bonne communication entre les membres de l'équipe.

3.6.1 Tableau de répartition des tâches

Cette planification a permis de structurer efficacement le travail de l'équipe et de garantir une progression cohérente du projet à travers les différentes phases de développement. La complémentarité des compétences a constitué un facteur clé dans la réussite du projet et dans l'atteinte des objectifs fixés.

Membre	Spécialité	Principales tâches
Mohamed Sidi Mohamed	Informatique	Analyse des besoins, conception de l'architecture logicielle, développement du back-end et intégration des modules.
Sidi Mohamed Lemin Ahmed Henoun	Informatique	Développement du front-end, conception des interfaces utilisateur, visualisation des données et ergonomie.
Sidi Mohamed Vadel Beye	Informatique	Gestion des données, implémentation des fonctionnalités d'analyse et support technique au développement.
Abdallahi Cheikh Ahmed El Imam	Ingénierie Pétrole et Gaz	Analyse des données de mud logging et de well logging, définition des paramètres techniques et validation métier des résultats.
M'Hamed Mohamed Rahel	Géologie	Interprétation géologique et pétrophysique, analyse des formations, validation géologique des résultats affichés.

TABLE 3.2 – Répartition des tâches entre les membres de l'équipe

Chapitre 4 Conception du système

4.1 Architecture générale de l'application

L'architecture générale de l'application web développée dans ce projet repose sur une organisation conceptuelle claire permettant de structurer les différentes composantes du système et leurs interactions. Cette architecture vise à assurer une séparation logique entre les données, les traitements et les interfaces utilisateur, tout en facilitant l'intégration des données de puits pétroliers et leur exploitation.

L'application est conçue comme une plateforme centralisée permettant la collecte, la gestion, l'analyse et la visualisation des données de puits issues de différentes sources. Elle constitue un outil d'aide à l'analyse destiné aux utilisateurs techniques et aux utilisateurs à accès simplifié.

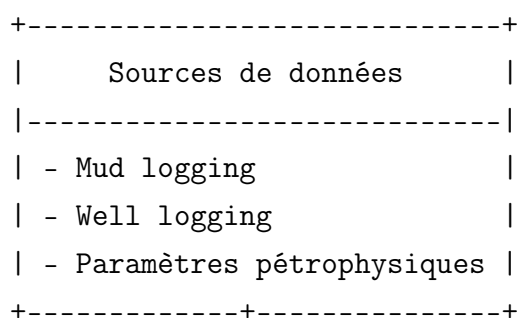
4.1.1 Vue conceptuelle de l'architecture

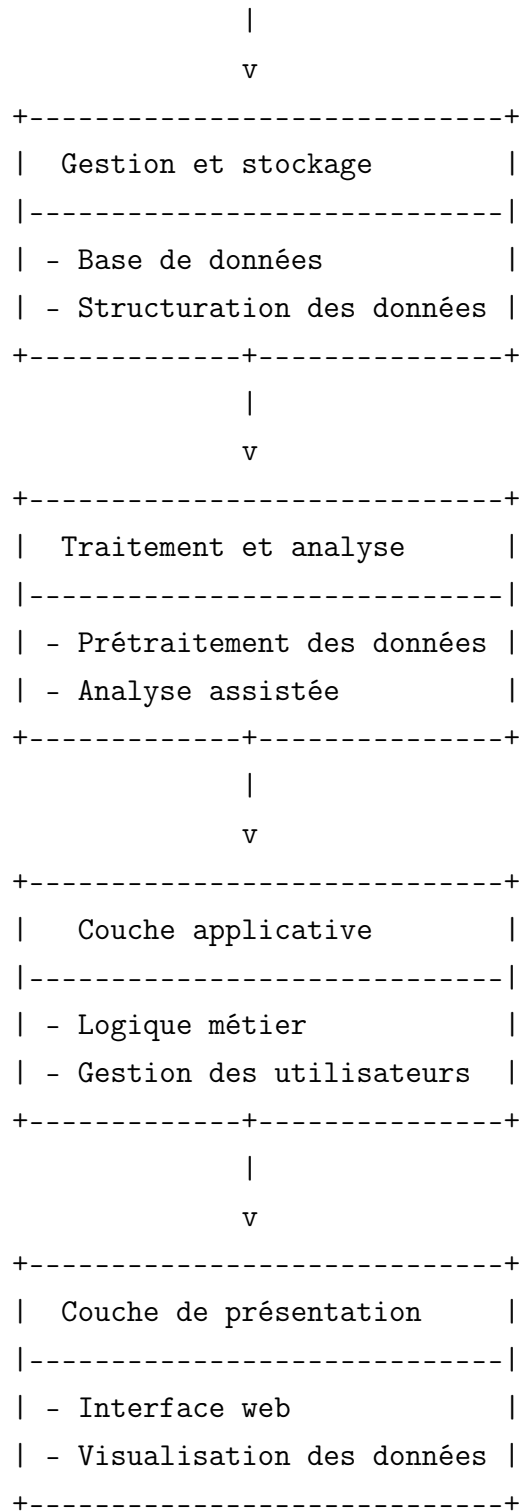
L'architecture conceptuelle du système est organisée autour de cinq couches principales :

- la couche des sources de données ;
- la couche de gestion et de stockage des données ;
- la couche de traitement et d'analyse ;
- la couche applicative ;
- la couche de présentation.

Ces couches interagissent de manière séquentielle afin de garantir une circulation cohérente des données depuis leur acquisition jusqu'à leur visualisation.

4.1.2 Schéma logique de l'architecture





4.1.3 Description des couches

La couche des sources de données regroupe l'ensemble des informations issues du mud logging, du well logging et des paramètres pétrophysiques. Ces données constituent les entrées principales du système.

La couche de gestion et de stockage assure l'organisation, la structuration et la conser-

vation des données au sein d'une base centralisée, facilitant leur accès et leur réutilisation par les différentes composantes du système.

La couche de traitement et d'analyse est chargée de la préparation des données et de leur exploitation à des fins d'analyse. Elle permet de transformer les données brutes en informations exploitables par les utilisateurs.

La couche applicative représente le cœur logique du système. Elle gère les règles de fonctionnement de l'application, la coordination entre les modules et la gestion des profils utilisateurs.

Enfin, la couche de présentation correspond à l'interface web de l'application. Elle permet aux utilisateurs d'interagir avec le système, de consulter les données et de visualiser les résultats sous forme graphique et synthétique.

Cette architecture conceptuelle constitue une base solide pour la conception détaillée du système et facilite l'évolution future de l'application.

4.2 Architecture logicielle

L'architecture logicielle de l'application web est conçue selon une approche en couches, inspirée du modèle MVC (Modèle–Vue–Contrôleur). Cette organisation permet une séparation claire des responsabilités entre les différentes parties du système, facilitant ainsi la maintenance, l'évolution et la compréhension globale de l'application.

L'architecture logicielle repose sur quatre couches principales : la couche de présentation, la couche applicative, la couche métier et la couche d'accès aux données. Chaque couche assure un rôle bien défini et communique avec les autres de manière contrôlée.

4.2.1 Couche de présentation

La couche de présentation correspond à l'interface utilisateur de l'application web. Elle est responsable de l'affichage des informations, de la visualisation des données de puits et de l'interaction avec les utilisateurs. Cette couche permet de présenter les résultats sous forme de graphiques, de tableaux et de vues synthétiques adaptées aux différents profils d'utilisateurs.

4.2.2 Couche applicative

La couche applicative joue le rôle d'intermédiaire entre l'interface utilisateur et la logique métier. Elle gère les requêtes des utilisateurs, orchestre les traitements à effectuer et assure la coordination entre les différents modules du système. Cette couche permet également de contrôler les flux de données et de garantir le respect des règles de fonctionnement de l'application.

4.2.3 Couche métier

La couche métier contient les règles de traitement spécifiques au domaine pétrolier. Elle regroupe les modules d'analyse des données de puits, les traitements liés au mud logging, au well logging et aux paramètres pétrophysiques, ainsi que les mécanismes d'analyse assistée. Cette couche permet de transformer les données brutes en informations exploitables par les utilisateurs.

4.2.4 Couche d'accès aux données

La couche d'accès aux données est chargée de la communication avec le système de stockage. Elle assure l'enregistrement, la récupération et la mise à jour des données de puits dans la base de données. Cette couche garantit également l'intégrité et la cohérence des données utilisées par l'application.

Cette architecture logicielle en couches permet de structurer efficacement le développement de l'application web et de faciliter l'intégration des différentes fonctionnalités prévues dans le cadre du projet.

4.3 Modélisation fonctionnelle

La modélisation fonctionnelle vise à décrire le fonctionnement global de l'application web du point de vue des interactions entre les utilisateurs et le système, indépendamment des choix techniques d'implémentation. Elle permet d'identifier les principales fonctionnalités offertes par l'application et de clarifier la manière dont les utilisateurs accèdent aux services proposés.

L'application web développée dans ce projet est conçue pour répondre aux besoins de différents profils d'utilisateurs, notamment les utilisateurs techniques et les utilisateurs à accès simplifié. Chaque profil interagit avec le système à travers un ensemble de fonctionnalités adaptées à son niveau d'accès et à ses objectifs.

Du point de vue fonctionnel, le système permet tout d'abord la gestion des données de puits pétroliers. Cette fonctionnalité inclut l'importation des données, leur organisation et leur consultation au sein de l'application. Les données issues du mud logging, du well logging et des paramètres pétrophysiques sont intégrées de manière cohérente afin d'assurer une exploitation unifiée.

L'application offre également des fonctionnalités de visualisation permettant d'afficher les données de puits sous différentes formes, telles que des graphiques, des tableaux et des vues synthétiques. Ces visualisations facilitent l'interprétation des informations et permettent aux utilisateurs d'analyser les variations des paramètres en fonction de la profondeur du puits.

En complément, le système propose des fonctionnalités d'analyse visant à assister

l'utilisateur dans l'exploitation des données. Ces fonctionnalités permettent de mettre en évidence des tendances, de comparer différents paramètres et de fournir une aide à l'interprétation des données de puits, tout en restant dans un cadre appliqué et pédagogique.

Enfin, la modélisation fonctionnelle prend en compte la gestion des utilisateurs et des droits d'accès. Le système distingue les niveaux d'interaction afin de garantir une utilisation sécurisée et adaptée aux différents profils, tout en assurant une navigation claire et structurée au sein de l'application.

Cette modélisation fonctionnelle constitue une base essentielle pour la conception détaillée du système et permet d'assurer une adéquation entre les besoins exprimés, les fonctionnalités développées et les objectifs globaux du projet.

4.4 Modélisation des données

La modélisation des données vise à représenter de manière conceptuelle les informations manipulées par l'application web ainsi que les relations existant entre elles. Cette étape permet de structurer les données de puits pétroliers de façon cohérente, indépendamment de toute considération technique liée à leur stockage ou à leur implémentation.

Dans le cadre de ce projet, la modélisation des données repose sur l'identification des principales entités du domaine pétrolier et sur la définition des relations qui les relient. Elle constitue une base essentielle pour la conception ultérieure de la base de données et pour l'organisation des traitements effectués par l'application.

4.4.1 Principales entités du système

Les principales entités identifiées dans le système sont les suivantes :

- **Puits** : représente un puits pétrolier et regroupe les informations générales telles que son identifiant, sa localisation et ses caractéristiques principales.
- **Données de mud logging** : regroupe les informations acquises lors du forage, notamment les indications lithologiques, les gaz détectés et les paramètres de forage.
- **Données de well logging** : correspond aux mesures issues des outils de diagraphie, telles que les logs Gamma Ray, de résistivité, de densité et de neutron, organisées en fonction de la profondeur.
- **Paramètres pétrophysiques** : inclut les paramètres dérivés ou mesurés, tels que la porosité, la perméabilité et la saturation.
- **Utilisateur** : représente les différents profils d'utilisateurs de l'application, avec leurs droits d'accès et leurs rôles respectifs.

4.4.2 Relations entre les entités

Les relations entre les entités permettent de structurer les données et de garantir leur cohérence au sein du système. Un **puits** est associé à un ensemble de données de mud logging, de données de well logging et de paramètres pétrophysiques. Ces relations traduisent le fait que les différentes données sont acquises et interprétées dans le contexte d'un même puits.

Les entités **données de mud logging** et **données de well logging** sont liées au puits par une relation de dépendance, car elles n'ont de sens que dans le cadre d'un puits donné. Les **paramètres pétrophysiques** sont quant à eux associés aux données de well logging, puisqu'ils sont souvent dérivés à partir de ces mesures.

L'entité **utilisateur** est liée aux différentes données par des relations d'accès. Ces relations permettent de définir les niveaux d'interaction possibles avec le système, en fonction du profil de l'utilisateur (technique ou à accès simplifié).

Cette modélisation conceptuelle des données permet de représenter de manière claire et structurée les informations manipulées par l'application. Elle constitue un support essentiel pour la compréhension du système et pour les étapes ultérieures de conception et de développement.

4.5 Diagrammes UML

Les diagrammes UML (Unified Modeling Language) sont utilisés afin de représenter de manière standardisée la structure et le fonctionnement du système développé. Ils permettent de compléter les descriptions architecturales et fonctionnelles en apportant une vision graphique des interactions et des composants du système.

Dans le cadre de ce projet, les diagrammes UML retenus sont volontairement limités aux modèles essentiels, afin de rester dans un cadre académique clair et cohérent.

4.5.1 Diagramme de cas d'utilisation

Le diagramme de cas d'utilisation illustre les interactions entre les différents types d'utilisateurs et l'application web. Il permet d'identifier les principales fonctionnalités accessibles à chaque profil.

Deux acteurs principaux sont considérés :

- l'utilisateur technique ;
- l'utilisateur à accès simplifié.

Les principaux cas d'utilisation incluent la consultation des données de puits, la visualisation des logs et des paramètres pétrophysiques, ainsi que l'analyse des données pour les utilisateurs techniques.

Diagramme de Cas d'Utilisation - Application Web d'Analyse de Donates de Puits Pétroliers

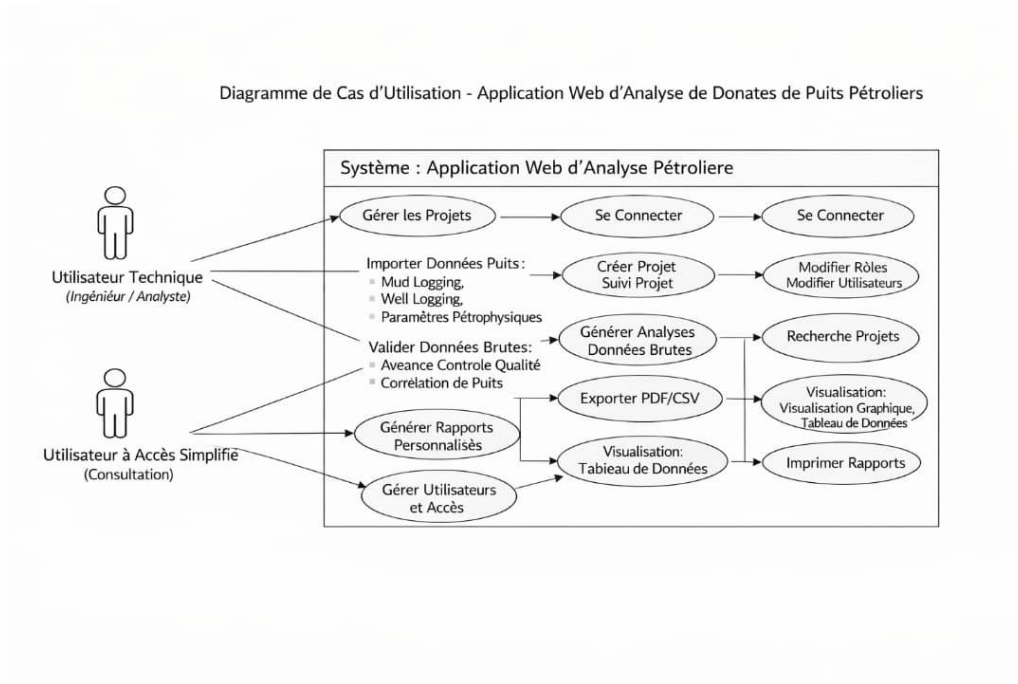


FIGURE 4.1 – Diagramme de cas d'utilisation de l'application web

4.5.2 Diagramme de classes

Le diagramme de classes représente la structure statique du système à travers les principales classes et les relations qui les relient. Il est directement issu de la modélisation conceptuelle des données présentée précédemment.

Les classes principales identifiées sont : *Puits*, *MudLogging*, *WellLogging*, *Parametre-Petrophysique* et *Utilisateur*. Les relations entre ces classes traduisent l'organisation des données autour du puits pétrolier.

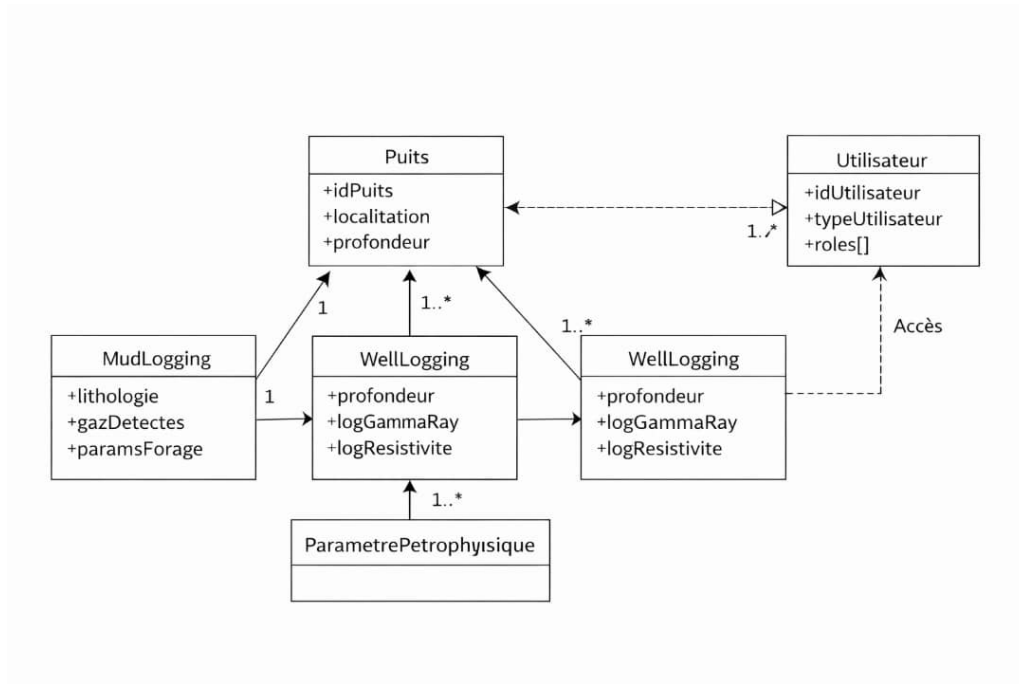


FIGURE 4.2 – Diagramme de classes du système

4.5.3 Diagramme de séquence

Le diagramme de séquence décrit le déroulement temporel des interactions entre un utilisateur et le système lors de l'exécution d'une fonctionnalité donnée. Il permet de visualiser l'ordre des échanges entre les différents composants de l'application.

À titre d'exemple, le scénario de consultation des données de puits comprend la connexion de l'utilisateur, la vérification des droits d'accès, la sélection d'un puits, la récupération des données et leur affichage sous forme de visualisations.

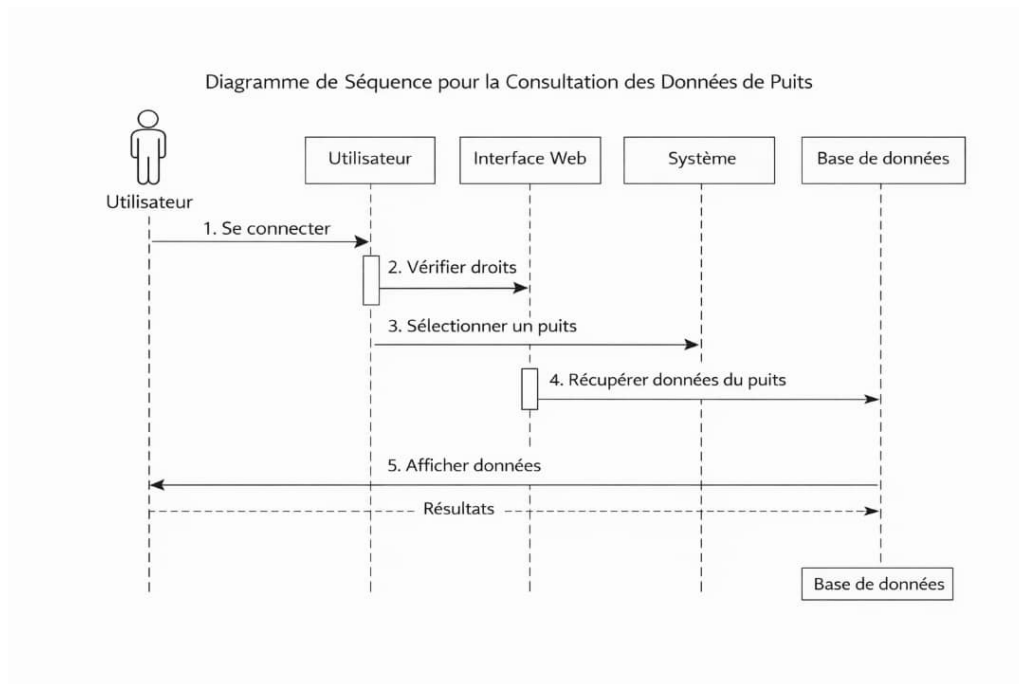


FIGURE 4.3 – Diagramme de séquence pour la consultation des données de puits

Ces diagrammes UML fournissent une représentation graphique complémentaire au texte présenté dans les sections précédentes et facilitent la compréhension globale du fonctionnement de l'application web.

Chapitre 5 Développement de l'application web

5.1 Choix technologiques

Le développement de l'application web d'analyse des données de puits pétroliers s'appuie sur un ensemble cohérent de technologies couvrant l'ensemble de la chaîne de développement, depuis l'interface utilisateur jusqu'au traitement et au stockage des données. Le choix de ces technologies a été effectué en fonction de leur pertinence pour les applications web orientées données, de leur maturité et de leur adéquation avec les objectifs techniques et pédagogiques du projet.

5.1.1 Vue d'ensemble des technologies utilisées

Les technologies retenues sont organisées selon les différentes couches de l'application : front-end, back-end, base de données, analyse des données et outils de développement.

5.1.2 Technologies du front-end

Le développement de l'interface utilisateur est assuré à l'aide de la bibliothèque **React**. Cette technologie permet de concevoir des interfaces dynamiques et modulaires, adaptées à la visualisation interactive des données de puits pétroliers.

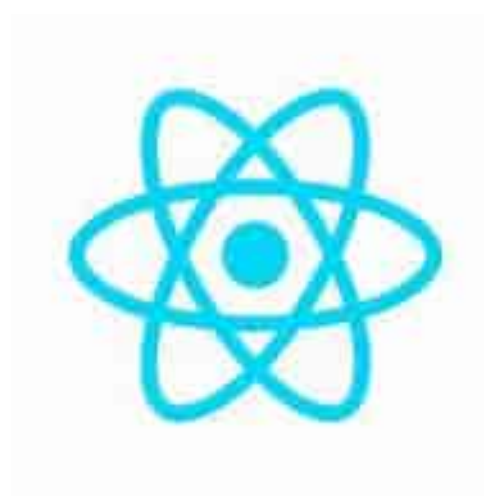


FIGURE 5.1 – Bibliothèque React utilisée pour le développement du front-end

5.1.3 Technologies du back-end

Le back-end de l'application est développé à l'aide du framework **Flask**. Flask permet de mettre en place une architecture légère et flexible pour la gestion des requêtes, de la logique métier et de la communication avec la base de données.

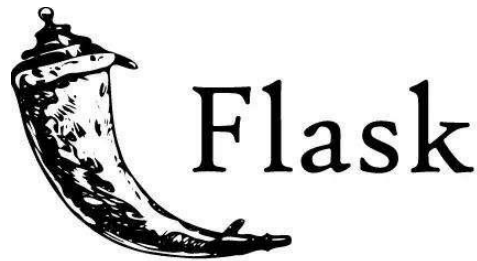


FIGURE 5.2 – Framework Flask utilisé pour le développement du back-end

5.1.4 Technologies de stockage des données

Le stockage des données est assuré par un système de base de données relationnelle **MySQL**. Ce choix permet de structurer efficacement les informations liées aux puits, aux logs et aux paramètres pétrophysiques, tout en garantissant l'intégrité des données.



FIGURE 5.3 – Système de gestion de base de données MySQL

5.1.5 Technologies d'analyse et de traitement des données

L'analyse et le traitement des données de puits reposent sur l'utilisation du langage **Python** et de bibliothèques spécialisées pour la manipulation et l'analyse des données numériques. Ces outils permettent de réaliser des traitements pétrophysiques, des analyses statistiques et des opérations de préparation des données.

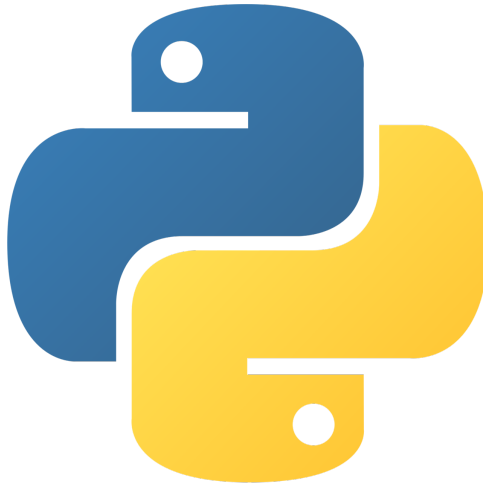


FIGURE 5.4 – Langage Python utilisé pour l’analyse des données

5.1.6 Outils de développement et de collaboration

Le développement du projet s’appuie sur des outils de gestion de code source et de collaboration, permettant un travail d’équipe structuré et un suivi efficace des modifications apportées au système.



FIGURE 5.5 – Outil de gestion de versions et de collaboration

L’ensemble de ces technologies constitue une pile technologique cohérente, permettant le développement d’une application web complète, évolutive et adaptée à l’analyse des données de puits pétroliers.

5.2 Architecture Front-end

L’architecture front-end de l’application web a été conçue afin d’offrir une interface utilisateur claire, interactive et adaptée à la visualisation des données de puits pétroliers. Elle constitue le point de contact principal entre l’utilisateur et le système, et joue un rôle essentiel dans l’exploitation des données et la prise de décision.

Le front-end est développé à l’aide de la bibliothèque React, qui permet d’organiser

l'interface sous forme de composants modulaires et réutilisables. Cette approche facilite la maintenance du code, l'évolution de l'application et la séparation des responsabilités au niveau de l'interface utilisateur.

5.2.1 Organisation générale du front-end

L'interface utilisateur est structurée autour de plusieurs vues principales, correspondant aux fonctionnalités majeures de l'application. Chaque vue regroupe un ensemble de composants React assurant l'affichage des données, la navigation et l'interaction avec l'utilisateur.

Les principales vues de l'application sont :

- la page d'authentification et de connexion ;
- la page de gestion et de sélection des projets ou des puits ;
- la page de visualisation des données de puits ;
- la page d'analyse et de consultation des résultats ;
- la page de gestion des utilisateurs et des paramètres.

5.2.2 Composants principaux de l'interface

L'architecture front-end repose sur des composants React organisés de manière hiérarchique. Chaque composant est responsable d'une partie spécifique de l'interface.

Parmi les composants principaux, on distingue :

- un composant de navigation permettant l'accès aux différentes sections de l'application ;
- des composants de visualisation graphique pour l'affichage des logs et des paramètres pétrophysiques ;
- des composants de tableaux pour la consultation des données structurées ;
- des composants de formulaires pour l'importation et la gestion des données.

Cette organisation permet de séparer la logique d'affichage de la logique de traitement, tout en assurant une interaction fluide avec le back-end.

5.2.3 Schéma conceptuel de l'architecture Front-end

Le schéma ci-dessous illustre l'organisation conceptuelle de l'architecture front-end et les relations entre les principales vues et composants de l'application.

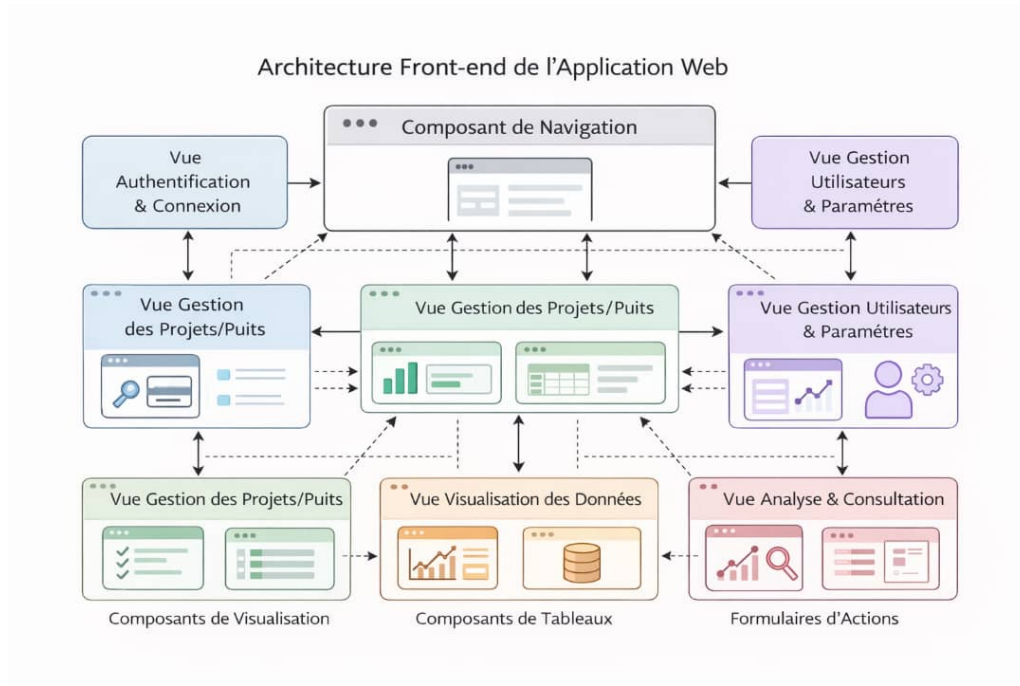


FIGURE 5.6 – Architecture conceptuelle du Front-end de l'application web

L'architecture front-end ainsi définie permet de garantir une interface utilisateur ergonomique, évolutive et adaptée à la complexité des données de puits pétroliers. Elle facilite également l'intégration des fonctionnalités d'analyse et de visualisation prévues dans le cadre du projet.

5.3 Architecture Back-end

L'architecture back-end de l'application web constitue le cœur logique du système. Elle est responsable du traitement des requêtes provenant du front-end, de l'application des règles métier et de la gestion de l'accès aux données stockées. Cette architecture est conçue de manière à assurer la cohérence, la sécurité et la performance du système.

Le back-end est développé à l'aide du framework Flask, qui permet de mettre en place une architecture légère et modulaire, adaptée aux applications web orientées données et aux services de type API.

5.3.1 Organisation générale du back-end

Le back-end est organisé autour de plusieurs modules assurant chacun une fonction spécifique. Cette organisation modulaire permet de séparer les responsabilités et de faciliter la maintenance et l'évolution du système.

Les principaux modules du back-end sont :

- le module de gestion des requêtes et des routes API ;
- le module de logique métier lié à l'analyse des données de puits ;

- le module de gestion des utilisateurs et de l'authentification ;
- le module d'accès aux données et à la base de données ;
- le module de traitement et de préparation des données.

5.3.2 Gestion des requêtes et des services API

Le back-end expose un ensemble de services sous forme d'API permettant au front-end de communiquer avec le système. Ces services assurent la réception des requêtes, leur traitement et l'envoi des réponses correspondantes.

Les API permettent notamment :

- la récupération des données de puits ;
- l'importation et la mise à jour des données ;
- l'exécution des traitements d'analyse ;
- la gestion des utilisateurs et des droits d'accès.

5.3.3 Logique métier et traitement des données

La logique métier regroupe l'ensemble des règles spécifiques au domaine pétrolier. Elle permet de structurer le traitement des données issues du mud logging, du well logging et des paramètres pétrophysiques.

Cette couche assure la validation des données, leur préparation pour l'analyse et leur transformation en informations exploitables par le front-end.

5.3.4 Accès aux données et sécurité

Le module d'accès aux données est chargé de la communication avec le système de stockage. Il permet de réaliser les opérations de lecture, d'écriture et de mise à jour des données de manière sécurisée.

Des mécanismes de contrôle d'accès sont mis en place afin de garantir que seuls les utilisateurs autorisés peuvent accéder aux fonctionnalités et aux données sensibles de l'application.

5.3.5 Schéma conceptuel de l'architecture Back-end

Le schéma ci-dessous illustre l'organisation conceptuelle du back-end et les interactions entre ses principaux modules ainsi que leur communication avec le front-end et la base de données.

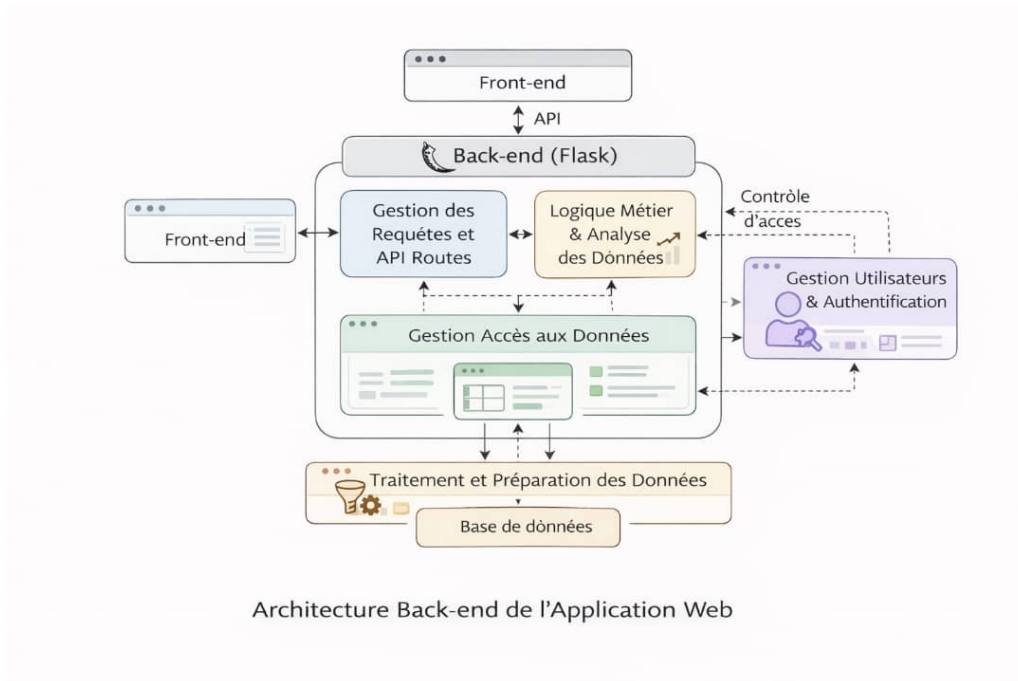


FIGURE 5.7 – Architecture conceptuelle du Back-end de l'application web

L'architecture back-end ainsi définie permet d'assurer une communication efficace entre le front-end et la base de données, tout en garantissant la cohérence des traitements et la sécurité des données manipulées par l'application.

5.4 Gestion des données

La gestion des données constitue un élément central de l'application web d'analyse des données de puits pétroliers. Elle regroupe l'ensemble des mécanismes permettant l'importation, le stockage, le traitement et la consultation des données issues du mud logging, du well logging et des paramètres pétrophysiques.

L'objectif principal de cette couche est d'assurer une organisation cohérente des données, de garantir leur intégrité et de faciliter leur exploitation par les différents modules de l'application.

5.4.1 Sources et types de données

Les données manipulées par l'application proviennent de différentes sources liées au domaine pétrolier. Elles sont caractérisées par leur diversité et leur volume.

Les principaux types de données pris en charge sont :

- les données de mud logging, acquises lors des opérations de forage ;
- les données de well logging, issues des mesures diagraphiques ;
- les paramètres pétrophysiques, tels que la porosité, la perméabilité et la saturation ;
- les données liées aux utilisateurs et aux projets.

5.4.2 Processus d'importation des données

L'application permet l'importation des données de puits à partir de fichiers ou de sources externes. Ce processus inclut des étapes de validation visant à vérifier la cohérence et le format des données avant leur intégration dans le système.

Une fois importées, les données sont associées à un puits spécifique et organisées de manière structurée afin de faciliter leur exploitation ultérieure.

5.4.3 Stockage et organisation des données

Les données sont stockées dans une base de données relationnelle, permettant de structurer les informations et de gérer les relations entre les différentes entités du système. Cette organisation facilite l'accès aux données et garantit leur cohérence.

La structure de stockage est conçue de manière à permettre :

- une consultation efficace des données de puits ;
- une mise à jour contrôlée des informations ;
- une évolution future du schéma de données.

5.4.4 Accès et exploitation des données

L'accès aux données est assuré par le back-end de l'application à travers des services API. Ces services permettent au front-end de récupérer les informations nécessaires à l'affichage et à l'analyse, tout en respectant les droits d'accès des utilisateurs.

Les données récupérées peuvent être utilisées pour la visualisation graphique, la génération de rapports ou l'exécution de traitements d'analyse.

5.4.5 Schéma conceptuel de gestion des données

Le schéma ci-dessous illustre le flux de gestion des données depuis leur importation jusqu'à leur exploitation au sein de l'application web.

Cette organisation de la gestion des données permet d'assurer une exploitation fiable et cohérente des informations de puits, tout en facilitant leur analyse et leur visualisation au sein de l'application.

5.5 Sécurité et authentification

La sécurité et l'authentification constituent des aspects essentiels du développement de l'application web d'analyse des données de puits pétroliers. Elles visent à protéger les données sensibles, à garantir l'intégrité du système et à contrôler l'accès aux différentes fonctionnalités en fonction des profils des utilisateurs.

Dans le cadre de ce projet, des mécanismes de sécurité adaptés au contexte académique et à la nature de l'application ont été pris en compte, tout en restant dans un cadre réaliste et cohérent avec l'architecture mise en place.

5.5.1 Authentification des utilisateurs

L'authentification permet de vérifier l'identité des utilisateurs avant de leur autoriser l'accès à l'application. Chaque utilisateur dispose d'un compte associé à des identifiants personnels, permettant d'assurer une identification unique au sein du système.

Le processus d'authentification repose sur la vérification des informations fournies lors de la connexion et sur la gestion des sessions utilisateur. Cette approche permet de garantir que seules les personnes autorisées peuvent accéder aux fonctionnalités de l'application.

5.5.2 Gestion des droits d'accès

La gestion des droits d'accès est basée sur les profils des utilisateurs identifiés précédemment. Le système distingue notamment les utilisateurs techniques et les utilisateurs à accès simplifié, chacun disposant de droits spécifiques.

Cette distinction permet de restreindre l'accès à certaines fonctionnalités sensibles, telles que l'analyse avancée des données ou la modification des informations, tout en autorisant une consultation contrôlée des données pour les utilisateurs à accès simplifié.

5.5.3 Protection des données

La protection des données vise à garantir la confidentialité et l'intégrité des informations manipulées par l'application. Des mécanismes de contrôle sont mis en place afin d'éviter les accès non autorisés et les modifications non légitimes des données stockées.

La communication entre les différentes composantes du système est conçue de manière à limiter les risques liés à l'exposition des données, en particulier lors des échanges entre le front-end et le back-end.

5.5.4 Limites et perspectives de sécurité

Les mécanismes de sécurité mis en œuvre dans ce projet répondent aux besoins principaux de l'application dans un contexte académique. Toutefois, des améliorations pourraient être envisagées dans un cadre industriel, notamment en matière de renforcement de l'authentification, de gestion avancée des accès et de surveillance des activités du système.

Ces perspectives soulignent l'importance de la sécurité dans les applications orientées données et ouvrent la voie à des évolutions futures du système développé.

Chapitre 6 Intégration de l'analyse intelligente des données

6.1 Sources et préparation des données

L'intégration de l'analyse intelligente des données dans l'application web repose avant tout sur la qualité et la structuration des données exploitées. La phase de préparation des données constitue une étape essentielle, car elle conditionne la fiabilité des analyses et des résultats obtenus.

Dans le cadre de ce projet, les données analysées proviennent principalement des différentes sources de données de puits pétroliers, notamment le mud logging, le well logging et les paramètres pétrophysiques. Ces données présentent des formats variés et nécessitent un traitement préalable avant leur exploitation.

6.1.1 Sources des données de puits

Les principales sources de données prises en compte sont :

- les données de mud logging, fournissant des informations sur la lithologie, les gaz et les paramètres de forage ;
- les données de well logging, telles que les logs Gamma Ray, de résistivité, de densité et de neutron ;
- les paramètres pétrophysiques, incluant la porosité, la perméabilité et la saturation ;
- les données associées aux puits, telles que l'identification et la profondeur.

Ces données sont généralement collectées à différentes étapes du cycle de vie du puits et présentent des niveaux de précision et de granularité variables.

6.1.2 Nettoyage et validation des données

Avant toute analyse, les données brutes font l'objet d'un processus de nettoyage et de validation. Cette étape vise à détecter et corriger les incohérences, les valeurs manquantes et les erreurs de mesure pouvant affecter la qualité des analyses.

Les principales opérations réalisées incluent la suppression ou la correction des valeurs aberrantes, la gestion des données manquantes et la vérification de la cohérence des unités

et des plages de valeurs.

6.1.3 Structuration et normalisation des données

Une fois nettoyées, les données sont structurées de manière cohérente afin de faciliter leur exploitation par les modules d'analyse. Cette structuration permet d'organiser les données en fonction du puits, de la profondeur et du type de mesure.

La normalisation des données est également effectuée afin de rendre comparables des paramètres de nature différente. Cette étape est particulièrement importante pour les analyses combinant plusieurs types de données, notamment les paramètres pétrophysiques dérivés des logs.

6.1.4 Préparation des données pour l'analyse

La préparation des données consiste à transformer les données structurées en ensembles exploitables par les modules d'analyse intelligente. Cette phase inclut la sélection des variables pertinentes, la création d'indicateurs dérivés et la segmentation des données selon les besoins de l'analyse.

L'ensemble de ces traitements permet de fournir des données prêtes à être analysées, garantissant ainsi une intégration efficace de l'analyse intelligente au sein de l'application web.

6.2 Analyse et interprétation des données de puits

Après la phase de préparation des données, l'étape suivante consiste à analyser et interpréter les données de puits pétroliers afin d'en extraire des informations utiles pour la compréhension des formations traversées et l'évaluation du réservoir. Cette analyse repose sur l'exploitation conjointe des données de mud logging, de well logging et des paramètres pétrophysiques.

L'objectif principal de cette phase est de transformer les données préparées en indicateurs interprétables, facilitant la prise de décision technique et l'évaluation du potentiel du puits.

6.2.1 Analyse des données de mud logging

Les données de mud logging sont analysées afin de suivre l'évolution lithologique le long du puits et de détecter la présence éventuelle de gaz. L'interprétation de ces données permet d'identifier les changements de formation, les zones potentiellement réservoirs et les événements significatifs survenus durant le forage.

L'analyse repose principalement sur l'observation des variations des paramètres de forage, des descriptions lithologiques et des concentrations de gaz, permettant d'établir une première interprétation du sous-sol en temps quasi réel.

6.2.2 Analyse des données de well logging

Les données de well logging constituent une source essentielle pour l'analyse détaillée des propriétés des formations. Les logs Gamma Ray, de résistivité, de densité et de neutron sont analysés conjointement afin de caractériser la nature des roches et leur comportement pétrophysique.

L'analyse combinée de ces logs permet notamment d'identifier les zones argileuses, les formations réservoirs et les intervalles susceptibles de contenir des fluides. Les variations des logs en fonction de la profondeur fournissent une vision continue des propriétés du puits.

6.2.3 Interprétation des paramètres pétrophysiques

Les paramètres pétrophysiques, tels que la porosité, la perméabilité et la saturation, sont interprétés afin d'évaluer la qualité du réservoir. Ces paramètres sont utilisés pour estimer la capacité de stockage des roches et leur aptitude à produire des hydrocarbures.

L'interprétation de ces paramètres repose sur leur analyse conjointe et sur leur corrélation avec les données de well logging, permettant ainsi d'obtenir une évaluation plus fiable du potentiel réservoir.

6.2.4 Techniques d'analyse appliquées

L'analyse des données de puits s'appuie sur des techniques générales telles que la corrélation de données, l'analyse de tendances et la comparaison entre différents paramètres mesurés. Ces techniques permettent de mettre en évidence des relations entre les variables et d'améliorer l'interprétation globale des données.

Dans le cadre de l'application web, ces analyses sont intégrées sous forme de fonctionnalités facilitant l'exploration des données et l'assistance à l'interprétation, sans se substituer à l'expertise humaine.

Cette approche appliquée permet d'exploiter efficacement les données de puits et constitue une étape clé dans l'intégration de l'analyse intelligente au sein du système développé.

6.3 Apport des techniques intelligentes

L'intégration de techniques intelligentes dans l'application web vise à renforcer les capacités d'analyse et d'interprétation des données de puits, sans se substituer à l'exp-

tise humaine. Ces techniques sont utilisées comme des outils d'assistance permettant de faciliter l'exploration des données, de mettre en évidence des tendances et d'améliorer la compréhension globale des informations disponibles.

Dans le cadre de ce projet, l'apport des techniques intelligentes repose principalement sur l'automatisation de certaines tâches d'analyse et sur l'exploitation de méthodes générales adaptées aux données de puits pétroliers.

6.3.1 Assistance à l'analyse des données

Les techniques intelligentes permettent d'assister l'utilisateur dans l'analyse des données en automatisant des opérations répétitives ou complexes, telles que la détection de variations significatives, la comparaison entre plusieurs paramètres ou l'identification de zones présentant des caractéristiques similaires.

Cette assistance facilite l'exploration des données de puits et permet à l'utilisateur de se concentrer sur l'interprétation technique des résultats plutôt que sur le traitement manuel des données.

6.3.2 Aide à l'interprétation des données

L'analyse intelligente contribue à l'interprétation des données en mettant en évidence des relations entre les différents paramètres mesurés. Par exemple, la corrélation entre les logs de well logging et les paramètres pétrophysiques permet d'identifier des zones potentiellement réservoirs et d'améliorer l'évaluation de la qualité des formations.

Ces techniques fournissent des indicateurs synthétiques et des visualisations assistées, servant de support à la prise de décision technique.

6.3.3 Intégration dans l'application web

Les fonctionnalités d'analyse intelligente sont intégrées directement au sein de l'application web, sous forme de modules accessibles aux utilisateurs techniques. Elles sont conçues pour être interactives et paramétrables, afin de s'adapter aux besoins spécifiques de l'analyse des données de puits.

L'intégration de ces techniques au niveau applicatif permet d'offrir une expérience utilisateur enrichie, tout en conservant une architecture claire et maîtrisée.

6.3.4 Limites et complémentarité avec l'expertise humaine

Les techniques intelligentes mises en œuvre dans ce projet sont utilisées dans un cadre d'assistance et présentent certaines limites liées à la qualité des données et aux hypothèses d'analyse. Elles ne remplacent en aucun cas l'expertise de l'ingénieur pétrole et gaz ou du géologue, mais viennent compléter leur travail.

Cette complémentarité entre analyse intelligente et expertise humaine constitue un élément clé de l'approche adoptée, garantissant une utilisation pertinente et responsable des outils intelligents dans l'analyse des données de puits.

6.4 Résultats obtenus

L'intégration de l'analyse intelligente des données au sein de l'application web a permis d'obtenir un ensemble de résultats illustrant l'apport de la plateforme dans l'exploitation et l'interprétation des données de puits pétroliers. Ces résultats reposent sur l'analyse conjointe des données de mud logging, de well logging et des paramètres pétrophysiques.

Les résultats présentés dans cette section sont de nature qualitative et descriptive, conformément au cadre académique du projet, et visent à mettre en évidence les fonctionnalités et les capacités du système développé.

6.4.1 Résultats liés à l'analyse des données de puits

L'application permet une visualisation structurée des données de puits, facilitant l'identification des variations lithologiques et des changements de comportement des formations en fonction de la profondeur. L'analyse conjointe des logs et des paramètres pétrophysiques offre une meilleure compréhension des zones étudiées.

Les résultats obtenus montrent que la centralisation des données et leur visualisation interactive améliorent significativement la lisibilité et l'exploitation des informations disponibles.

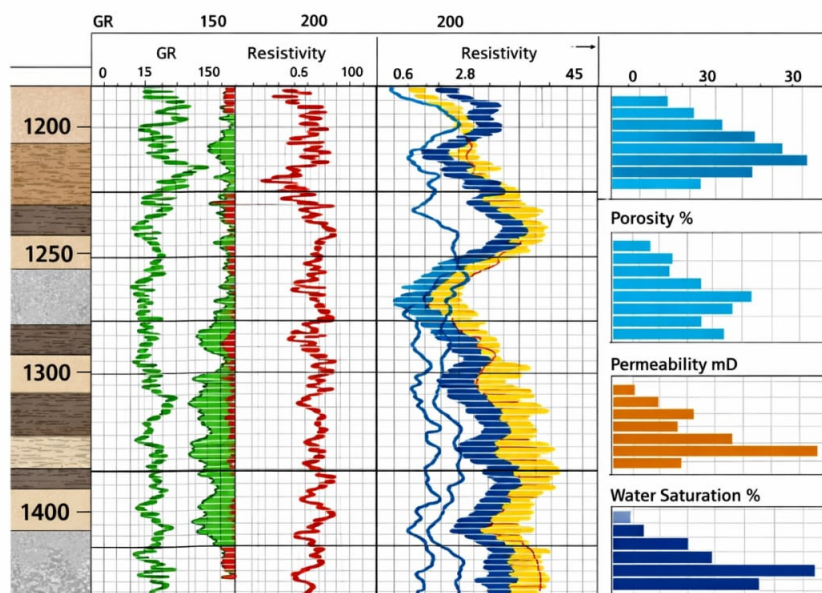


FIGURE 6.1 – Exemple de visualisation des données de puits dans l'application

6.4.2 Résultats de l'analyse assistée

Les fonctionnalités d'analyse assistée permettent de mettre en évidence des tendances et des corrélations entre les différents paramètres analysés. Ces résultats servent de support à l'interprétation technique et facilitent l'identification de zones présentant des caractéristiques spécifiques.

L'analyse assistée ne fournit pas de décision automatique, mais propose des indicateurs synthétiques permettant d'orienter l'analyse de l'utilisateur.

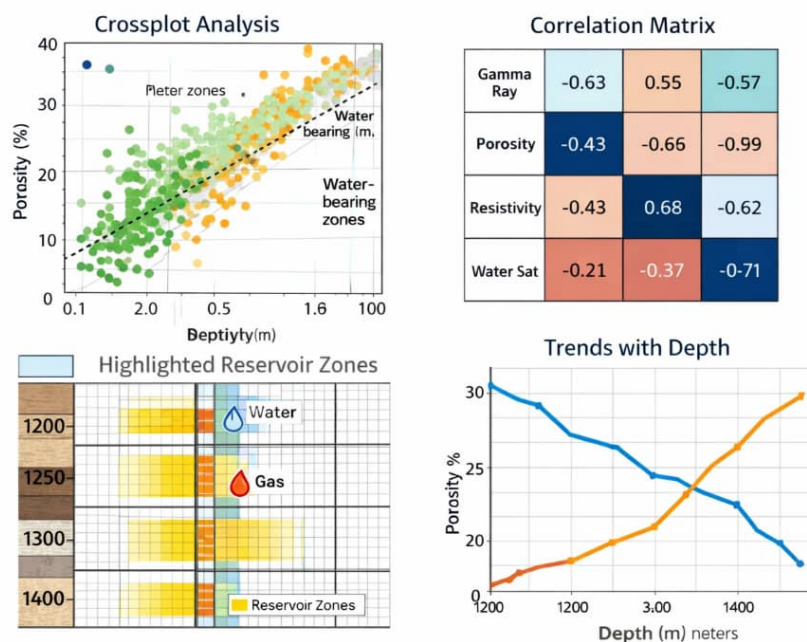


FIGURE 6.2 – Illustration des résultats de l'analyse assistée des données

6.4.3 Tableau synthétique des résultats

Le tableau suivant présente une synthèse des principaux résultats obtenus à travers l'utilisation de l'application web.

6.4.4 Discussion des résultats

Les résultats obtenus mettent en évidence l'intérêt d'une application web intégrant des fonctionnalités d'analyse intelligente pour l'exploitation des données de puits pétroliers. La combinaison de la visualisation interactive et de l'analyse assistée permet d'améliorer l'interprétation des données, tout en restant dans un cadre appliqué et pédagogique.

Ces résultats confirment la pertinence de l'approche adoptée et constituent une base solide pour des évolutions futures du système.

Aspect analysé	Résultats observés
Visualisation des données	Amélioration de la lisibilité et de la compréhension des données de puits grâce à des graphiques et tableaux interactifs.
Analyse des logs	Identification facilitée des variations lithologiques et des zones d'intérêt le long du puits.
Paramètres pétrophysiques	Interprétation plus cohérente de la porosité, de la perméabilité et de la saturation par analyse conjointe.
Analyse assistée	Mise en évidence de tendances et de corrélations servant de support à la prise de décision technique.

TABLE 6.1 – Synthèse des résultats obtenus

Conclusion Générale

Ce projet avait pour objectif principal de concevoir et de développer une application web dédiée à l'analyse des données de puits pétroliers, en s'appuyant sur une approche interdisciplinaire combinant l'informatique, l'ingénierie pétrole et gaz et la géologie. L'accent a été mis sur une démarche appliquée, intégrant les différentes étapes du cycle de développement d'un système informatique orienté données.

Le travail réalisé a permis de mettre en place une architecture cohérente couvrant la gestion des données, le développement front-end et back-end, ainsi que l'intégration de fonctionnalités d'analyse assistée. L'exploitation conjointe des données de mud logging, de well logging et des paramètres pétrophysiques a offert une vision structurée et exploitable des informations issues des puits pétroliers.

L'intégration de techniques intelligentes a été abordée comme un outil d'assistance à l'analyse et à l'interprétation des données, sans se substituer à l'expertise humaine. Cette approche a permis d'améliorer la lisibilité des données, de faciliter l'identification de tendances et de soutenir la prise de décision technique dans un cadre appliqué et pédagogique.

Sur le plan pédagogique, ce projet a constitué une expérience enrichissante, permettant aux membres de l'équipe de renforcer leurs compétences techniques, d'appliquer les connaissances acquises à travers les formations académiques et les MOOC suivis, et de travailler dans un contexte collaboratif et interdisciplinaire.

En perspective, plusieurs améliorations pourraient être envisagées, notamment l'enrichissement des fonctionnalités d'analyse, l'intégration de sources de données supplémentaires et le renforcement des mécanismes de sécurité et de performance. Ces perspectives ouvrent la voie à une évolution future du système vers des applications plus avancées et adaptées à un contexte industriel.

Bibliographie

- Schlumberger. *Log Interpretation Principles*. Schlumberger Oilfield Services, 1989.
- Asquith, G., Krygowski, D. *Basic Well Log Analysis*. American Association of Petroleum Geologists, 2004.
- Ahmed, T. *Reservoir Engineering Handbook*. Gulf Professional Publishing, 2010.
- Coursera. *Oil and Gas Industry Operations and Markets*. Disponible sur : <https://www.coursera.org/learn/oilandgas>
- Coursera. *Introduction to GIS Mapping*. Disponible sur : <https://www.coursera.org/learn/introduction-gis-mapping>
- FUN MOOC. *Java EE et Spring : prêt à l'emploi*. Disponible sur : <https://www.fun-mooc.fr>
- Udemy. *Cyber Security Comprehensive Course*. Disponible sur : <https://www.udemy.com>
- Flask Documentation. *Flask Web Framework*. Disponible sur : <https://flask.palletsprojects.com>
- React Documentation. *React – A JavaScript library for building user interfaces*. Disponible sur : <https://react.dev>