

Projet de Fin d'Études pour l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur

Soutenu le 0*/07/2025 à **h**mn par:

Amélioration de la Maintenance des Chaudières et Développement d'une Solution Intelligente pour l'Automatisation de l'AMDEC et des Gammes de Maintenance au sein de TAQA Morocco

Soutenu le 0*/07/2025 à **h**mn par:

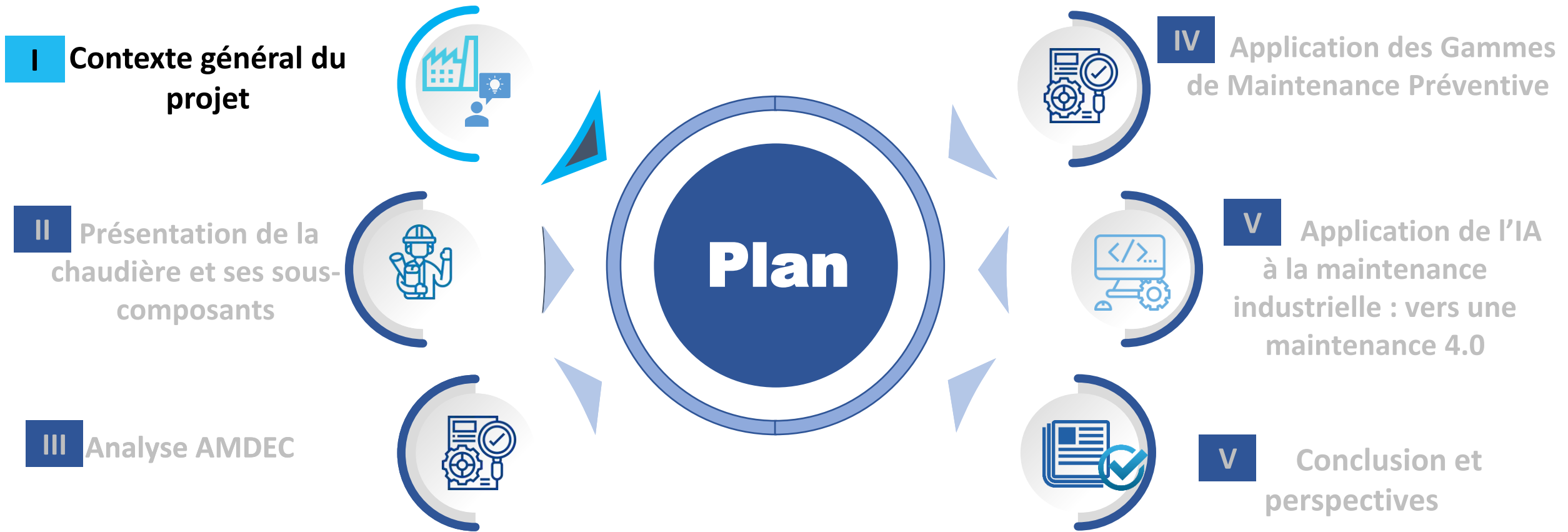
ANGUI hamza

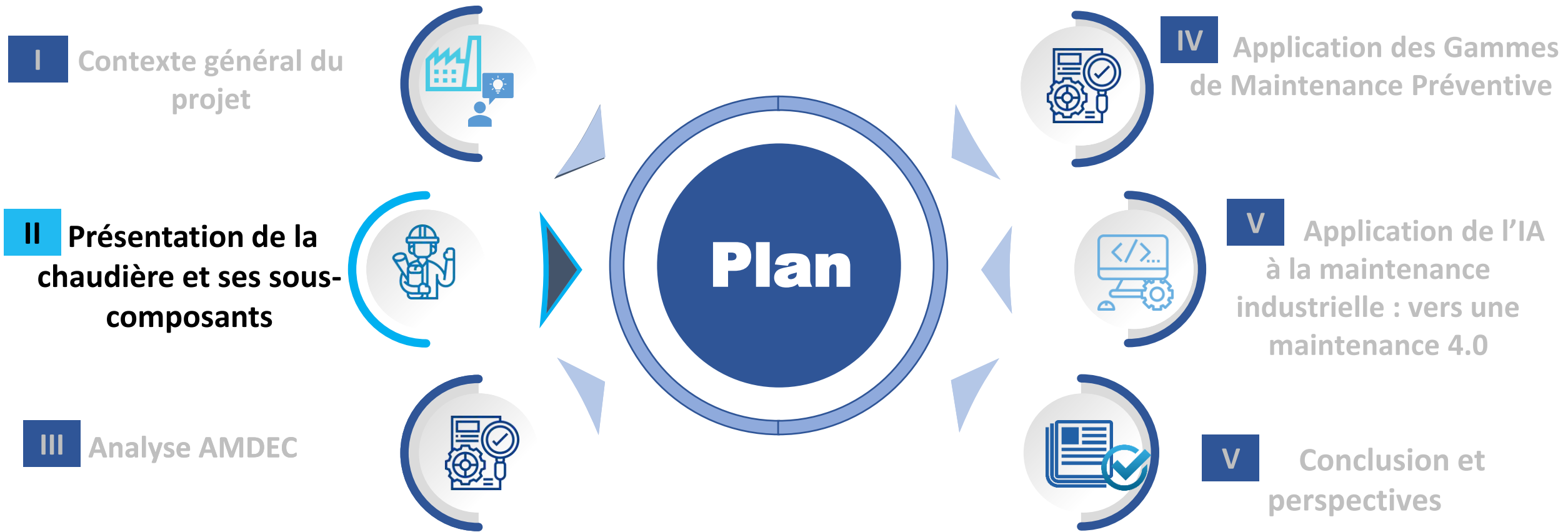


Devant le jury composé de:

Président	(EMSI)	Pr. *****
Rapporteur	(EMSI)	Pr. *****
Examineur	(EMSI)	Pr. *****
Encadrant	(EMSI)	Pr. GHASAN ayad
Encadrant	(TAQA)	Mr. HAREK amine

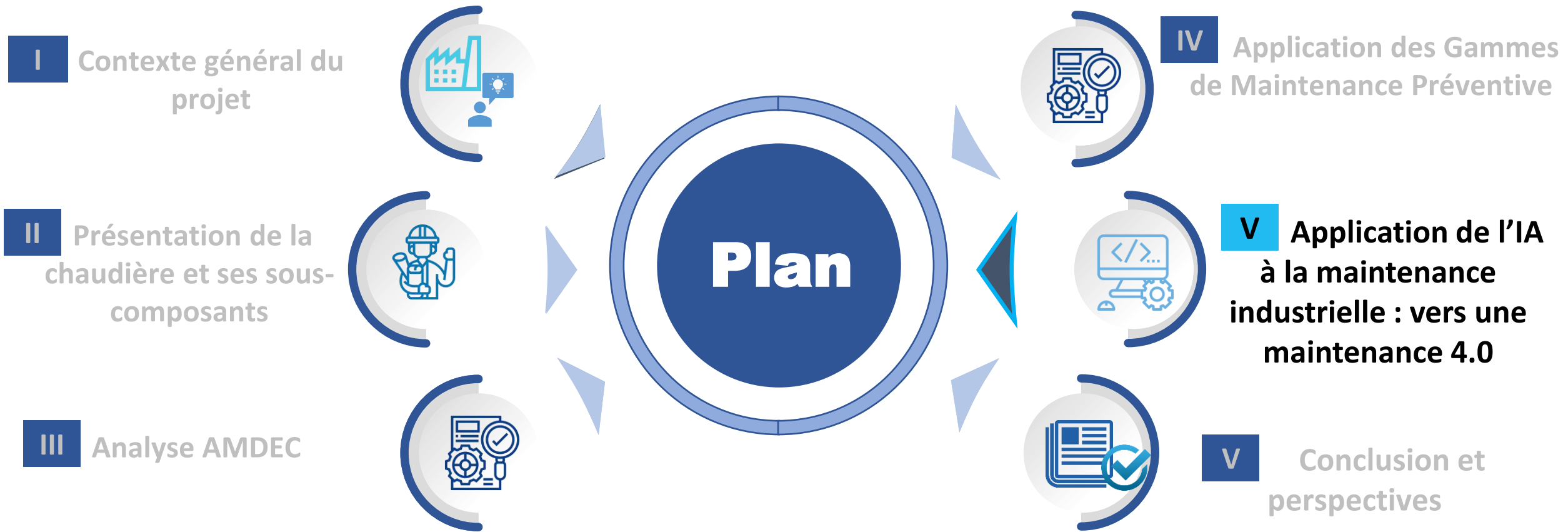
Année Universitaire 2024/2025















Contexte général du projet

I. Contexte général
du projet

II. Présentation
chaudière

III. Analyse AMDEC

IV. Gammes de
Maintenance

V. Application de
l'IA

VI. Conclusion &
perspectives

Contexte général du projet

Groupe TAQA:
Crée en 2005.

**Organisme
d'accueil**

Plus grande centrale
thermique de la région
MENA



Mission:
Production de l'énergie
électrique

Problématique et
objectifs du projet

Secteur d'activité:
Industrie énérgitique

I. Contexte général
du projet

II. Présentation
chaudière

III. Analyse AMDEC

IV. Gammes de
Maintenance

V. Application de
l'IA

VI. Conclusion &
perspectives

Organisme
d'accueil

TAQA utilise
majoritairement le
charbon (source
critique de CO₂)

Les chaudières ont des
pannes fréquentes

AMDEC manuelle et lente

Nécessité d'une solution
IA

Problématique et
objectifs du projet

I. Contexte général du projet

II. Présentation chaudière

III. Analyse AMDEC

IV. Gammes de Maintenance

V. Application de l'IA

VI. Conclusion & perspectives

•Objectifs du projet

•Prévenir les pannes fréquentes

•Maintenir un rendement satisfaisant

•Fiabiliser les chaudières et réduire les risques de défaillance

•Réduire les coûts de maintenance

•Garantir la sécurité des opérateurs et des équipements

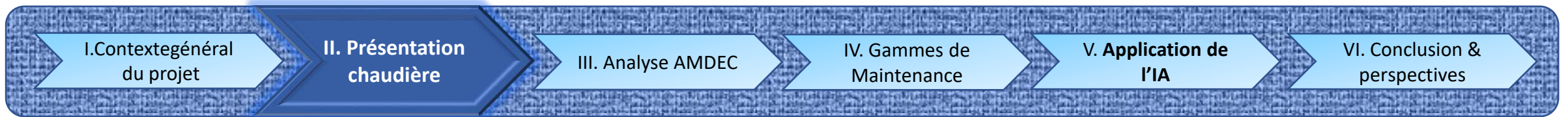
Organisme d'accueil

Problématique et objectifs du projet

•Digitaliser la maintenance des chaudières à travers une solution intelligente



Présentation technique de la chaudière et ses sous-composants



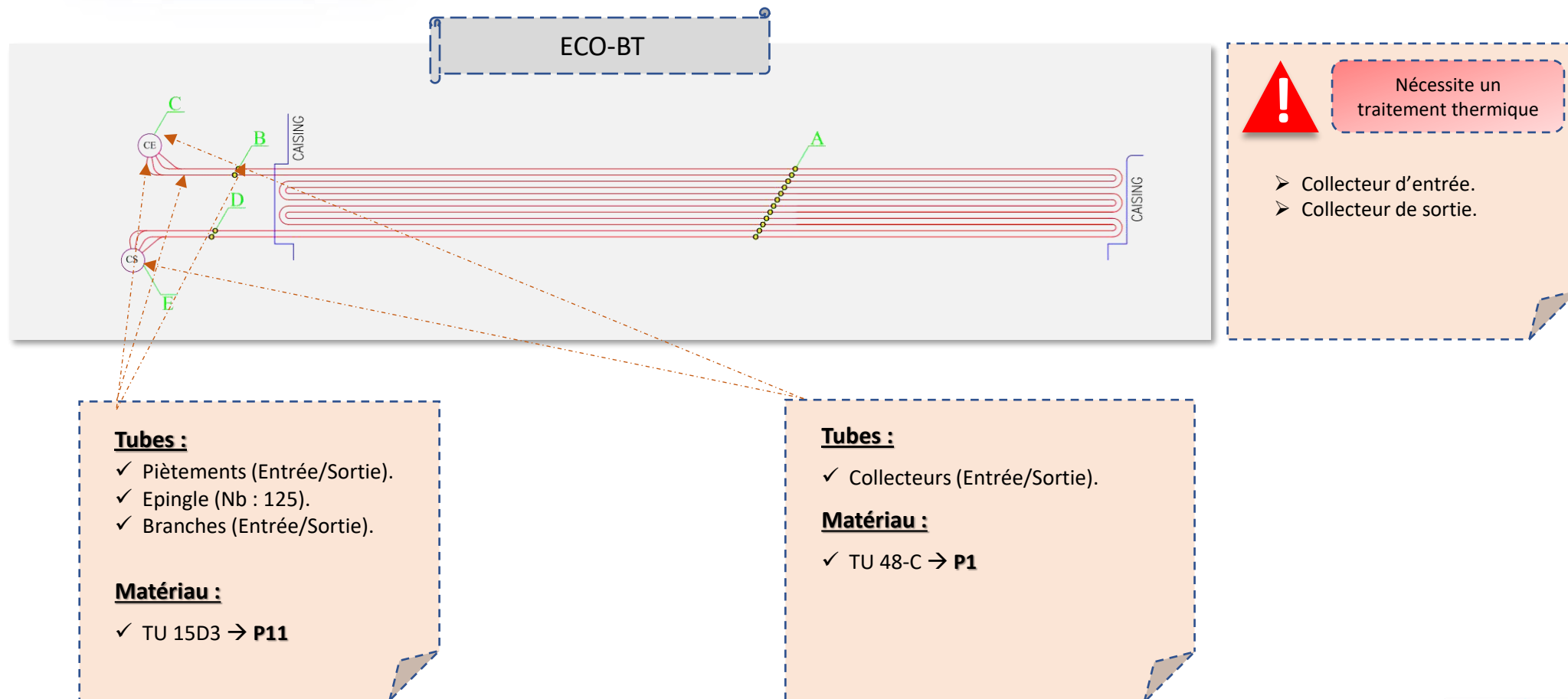
chaudière des unités 5 & 6

La chaudière est un équipement thermique destiné à transformer l'énergie thermique du charbon en vapeur surchauffée à haute pression.

Cette vapeur alimente ensuite la turbine pour produire de l'électricité.

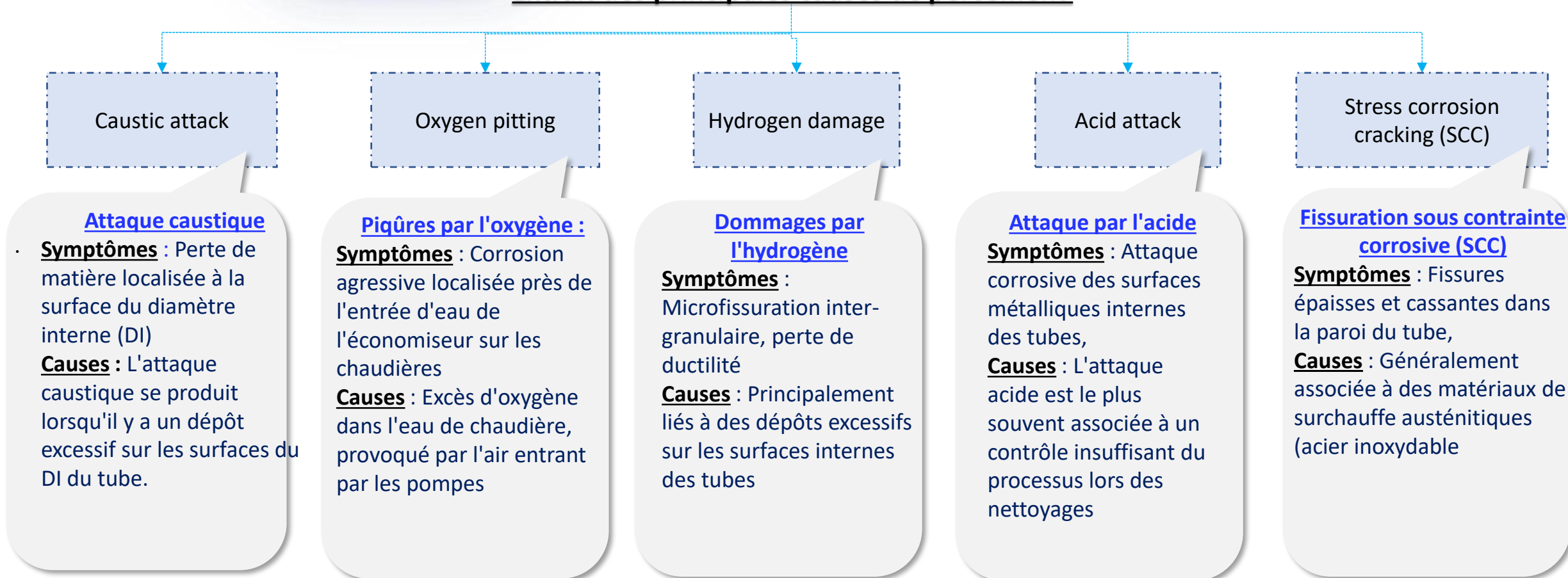
Elle est composée de plusieurs zones : économiseur, réchauffeur, surchauffeur... toutes exposées à de fortes contraintes thermiques et mécaniques.

Composants principaux :





Extrait des principales causes de percement :



I. Contexte général
du projet

II. Présentation
chaudière

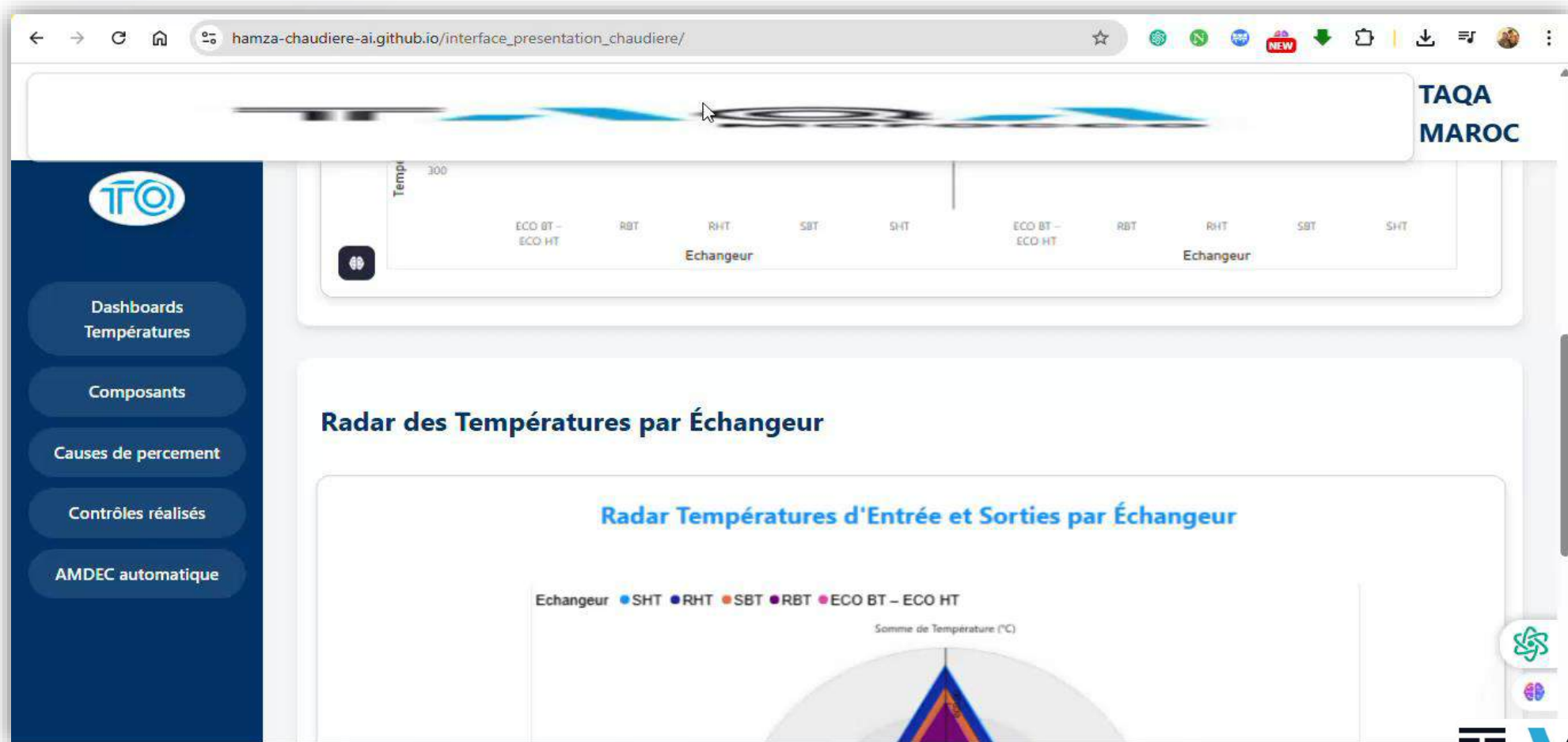
III. Analyse AMDEC

IV. Gammes de
Maintenance

V. Application de
l'IA

VI. Conclusion &
perspectives

Demo de l'interface web





Analyse AMDEC

I. Contexte général
du projet

II. Présentation
chaudière

III. Analyse
AMDEC

IV. Gammes de
Maintenance

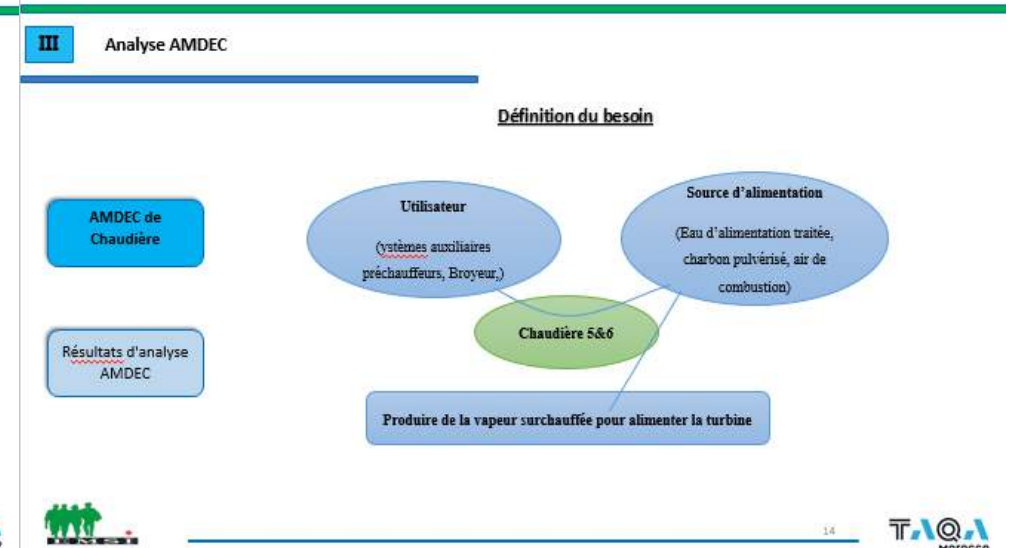
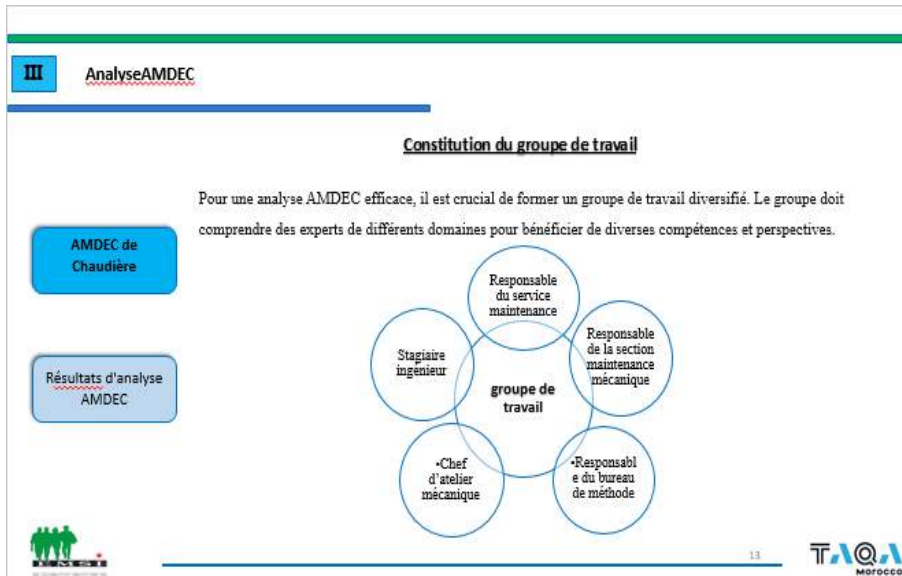
V. Application de
l'IA

VI. Conclusion &
perspectives

Le périmètre de l'étude

AMDEC de
Chaudière

Résultats d'analyse
AMDEC



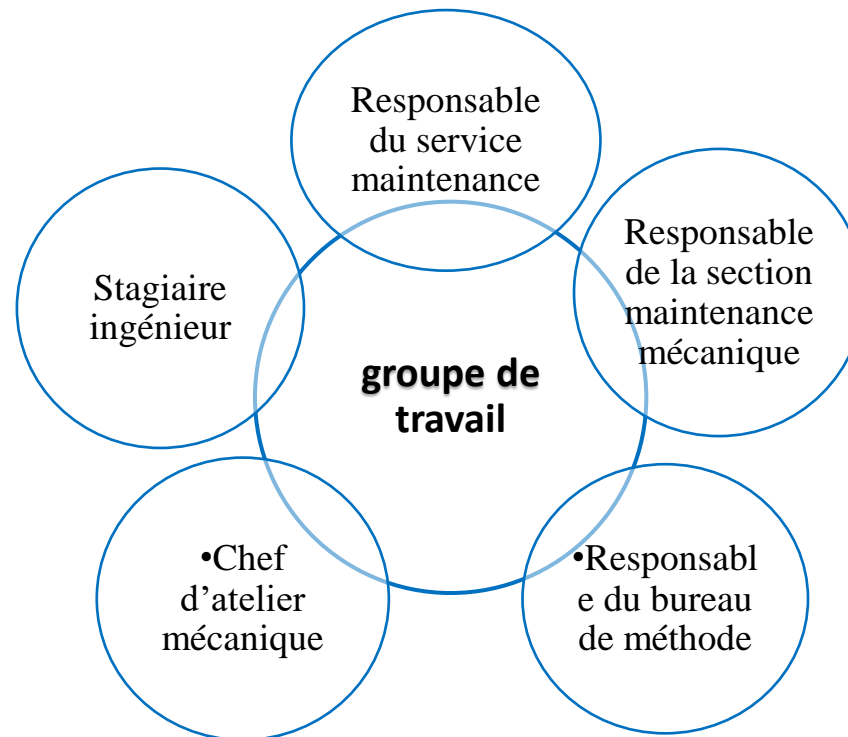


Constitution du groupe de travail

Pour une analyse AMDEC efficace, il est crucial de former un groupe de travail diversifié. Le groupe doit comprendre des experts de différents domaines pour bénéficier de diverses compétences et perspectives.

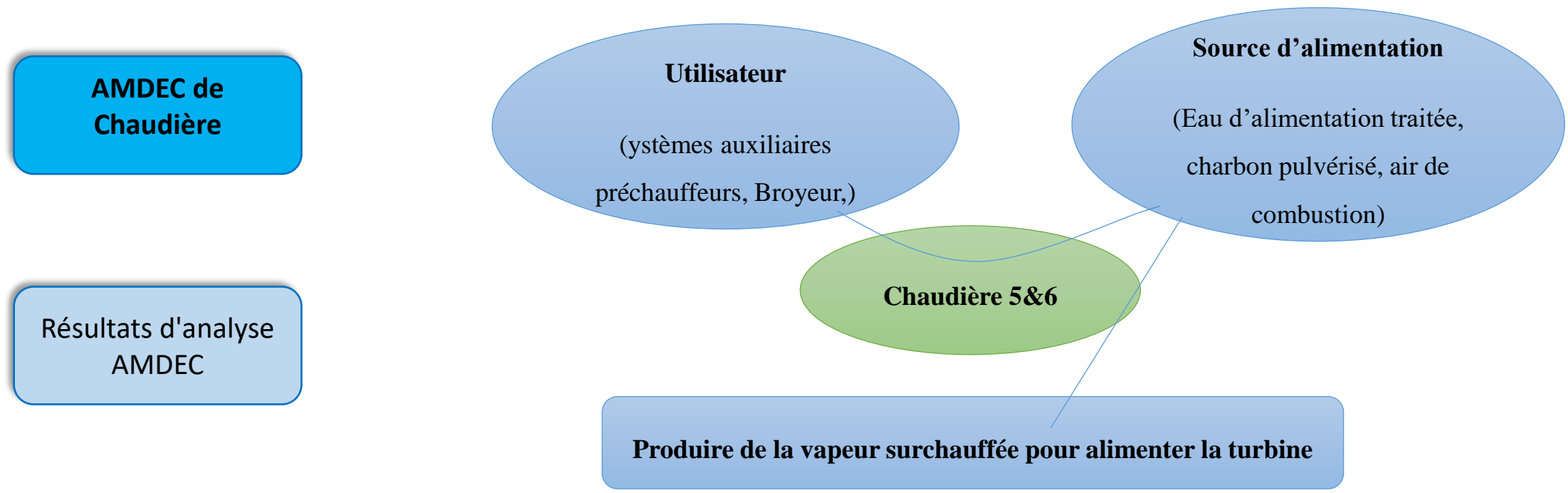
AMDEC de Chaudière

Résultats d'analyse AMDEC





Définition du besoin



I. Contexte général
du projet

II. Présentation
chaudière

III. Analyse
AMDEC

IV. Gammes de
Maintenance

V. Application de
l'IA

VI. Conclusion &
perspectives

Cotations des Critères d'Évaluation

AMDEC de Chaudière

Résultats d'analyse AMDEC

III Analyse AMDEC			
Détectabilité :			
AMDEC de Chaudière	Cotation	Signification	Détectabilité
Résultats d'analyse AMDEC	1	Affichage dans la salle de contrôle ou inspection visuelle	Facilement détectable
	2	Utilisation d'instruments d'inspection	Moyennement détectable
	3	Analyse vibratoire	Difficilement détectable
	4	Non-détection	Non détectable

16 T.A.Q.A. MOROCCO

III Analyse AMDEC			
Gravité :			
AMDEC de Chaudière	Cotation	Signification	Gravité
Résultats d'analyse AMDEC	1	Peu grave	Affecte partiellement la fonctionnalité, mais le système reste utilisable
	2	Moyennement grave	Affecte significativement la fonctionnalité, mais le système reste utilisable avec des limitations
	3	Très grave	Affecte sévèrement la fonctionnalité, rendant le système inutilisable sans réparation
	4	Extrêmement grave	Affecte complètement la fonctionnalité, rendant le système totalement inutilisable
	5	Gravité catastrophique	<ul style="list-style-type: none">Arrêt de fonction supérieur à 12 heuresIntervention lourde nécessitant des moyens coûteux

19 T.A.Q.A. MOROCCO

III Analyse AMDEC			
Niveaux de Maintenance			
AMDEC de Chaudière	Niveau de maintenance	Criticité (C)	Actions
Résultats d'analyse AMDEC	Niveau 1	$C < 12$	Aucune modification de conception Maintenance corrective
	Niveau 2	$12 \leq C < 24$	Améliorations des performances de l'élément Maintenance préventive systématique
	Niveau 3		Révision de la conception du sous-ensemble et du choix des éléments Surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle / prévisionnelle
	Niveau 4	$24 \leq C < 36$	Révision de conception et amélioration
	Niveau 5	$36 \leq C$	Changement total de conception (opérations de grande importance, nécessite une expertise spécifique)

20 T.A.Q.A. MOROCCO



Défectabilité :

AMDEC de Chaudière

Résultats d'analyse AMDEC

Cotation	Signification	Défectabilité
1	Affichage dans la salle de contrôle ou inspection visuelle	Facilement détectable
2	Utilisation d'instruments d'inspection	Moyennement détectable
3	Analyse vibratoire	Difficilement détectable
4	Non-détection	Non détectable



Fréquence :

AMDEC de Chaudière

Résultats d'analyse AMDEC

Cotation	Signification	Fréquence
1	Faiblement fréquent	Une fois par ans ou plus
2	Moyennement fréquent	Une fois par mois
3	Très fréquent	Une fois par semaine
4	Extrêmement fréquent	Deux fois par semaine



Gravité :

AMDEC de Chaudière

Résultats d'analyse AMDEC

Cotation	Signification	Gravité
1	Peu grave	Affecte partiellement la fonctionnalité, mais le système reste utilisable
2	Moyennement grave	Affecte significativement la fonctionnalité, mais le système reste utilisable avec des limitations
3	Très grave	Affecte sévèrement la fonctionnalité, rendant le système inutilisable sans réparation
4	Extrêmement grave	Affecte complètement la fonctionnalité, rendant le système totalement inutilisable
5	Gravité catastrophique	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêt de fonction supérieur à 12 heures • Intervention lourde nécessitant des moyens coûteux



Niveaux de Maintenance

AMDEC de Chaudière

Résultats d'analyse AMDEC

Niveaux de Criticité	Criticité (C)	Actions
$1 \leq C \leq 12$	Criticité négligeable	Aucune modification de conception Maintenance corrective
$12 \leq C \leq 16$	Criticité moyenne	Améliorations des performances de l'élément Maintenance préventive systématique
$16 \leq C \leq 20$	Criticité élevée	Révision de la conception du sous-ensemble et du choix des éléments Surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle / prévisionnelle
$20 \leq C \leq 30$	Criticité très élevée	Révision de conception et amélioration
$30 \leq C \leq 80$	Criticité interdite	Changement total de conception (opérations de grande importance, nécessite une expertise spécifique)

I. Contexte général
du projet

II. Présentation
chaudière

III. Analyse
AMDEC

IV. Gammes de
Maintenance

V. Application de
l'IA

VI. Conclusion &
perspectives

Extrait des tableaux AMDEC

AMDEC de Chaudière

Résultats d'analyse AMDEC

Composantes	Sous-Composantes	Modes de Défaillance	Causes	Effets	Criticité : C	Action Corrective
Economiseur HT	Collecteur entrée	Érosion	Cendres >14%	Amincissement accéléré	24	Nettoyage pneumatique mensuel
Economiseur BT	Collecteur sortie	Caustic attack	Dépôts + pH élevé	Perte matière interne	45	Rinçage chimique trimestriel + contrôle pH + Inspection boroscopique semestrielle + revêtement passivant interne.
Rechauffeur BT	Collecteur entrée	Hydrogen damage	Dépôts + pH bas	Microfissures	30	Contrôle chimie eau
Réchauffeur HT	Branches sortie	Acid attack	Nettoyage chimique agressif	Surface "fromage suisse"	24	Procédures nettoyage contrôlé
Surchauffeur BT	Épingle	Short-term overheat	Blocage flux vapeur	Rupture ductile	40	Mise en place d'un système automatique de détection de surchauffe couplé à un by-pass de sécurité + inspection thermographique régulière

IV

Élaboration et Application des Gammes de Maintenance Préventive



Des recommandations à l'action : les gammes de maintenance

**Synthèse des
gammes
appliquées**

Résultats de gamme
de maintenance

- **Issue de l'AMDEC** → élaboration de gammes ciblées
- **Objectif :** intervenir sur composants $C \geq 40$
- **Gamme =** plan détaillé : tâches, outils, pièces, durée



Une structure rigoureuse pour une exécution maîtrisée

Synthèse des
gammes
appliquées

- **Ordre des opérations** : séquençement clair
- **Description** détaillée des tâches
- **Temps alloué** par opération
- **Matériel** et fournitures nécessaires
- **Observations** pratiques (photos, remarques)

Résultats de gamme
de maintenance



Une démarche participative et terrain

**Synthèse des
gammes
appliquées**

1. Relevé des défaillances critiques

2. Analyse des pratiques actuelles

3. Formalisation des tâches

4. Validation terrain

5. Intégration du retour d'expérience (REX)

Résultats de gamme
de maintenance



Focus sur les composants à criticité élevée

**Synthèse des
gammes
appliquées**

Résultats de gamme
de maintenance





Composant	Sous-composant	Criticité (C)	Remarque
ECO BT	Collecteur sortie	45	Intervention prioritaire
SUR BT	Épingle	40	Criticité interdite ($C \geq 40$)



Gamme N°1 – Intervention sur collecteur ECO BT

Consignes de sécurité :

EPI obligatoires, consignation mécanique/électrique, signalisation zone d'intervention.

Opération	Durée	Matériel à employer	Observations
Inspection visuelle	20mn	Lampe torche, appareil-photo	
Mesure d'épaisseur (US)	25mn	Appareil de mesure à ultrasons	
Test d'étanchéité	30mn	Kit de test sous pression	
Nettoyage & anticorrosion	50mn	Brosse métallique, produit nettoyant	
Traitement anticorrosion	30mn	Pinceau, rouleau	

Synthèse des gammes appliquées

Résultats de gamme de maintenance

I. Contexte général
du projet

II. Présentation
chaudière

III. Analyse AMDEC

IV. Gammes
de
Maintenance

V. Application de
l'IA

VI. Conclusion &
perspectives



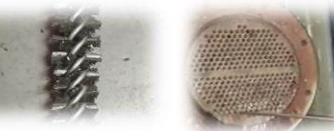

Gamme N°2 – Intervention sur épingle SUR BT

Consignes de sécurité :

Utiliser protection respiratoire contre poussières, EPI complets, consignation électrique stricte

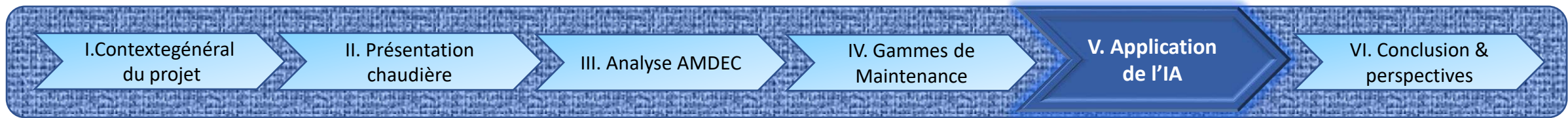
Synthèse des
gammes appliquées

Résultats de
gamme de
maintenance

Opération	Durée	Matériel à employer	Observations
Inspection visuelle (érosion, fissures)	15mn	Lampe, caméra endoscopique	
Contrôle épaisseur par ultrasons	20mn	Appareil ultrasons	
Nettoyage des surfaces internes (cendres, suies)	25mn	Tige flexible, brosse métallique	
Réparation ponctuelle fissures	40mn	Poste à souder	

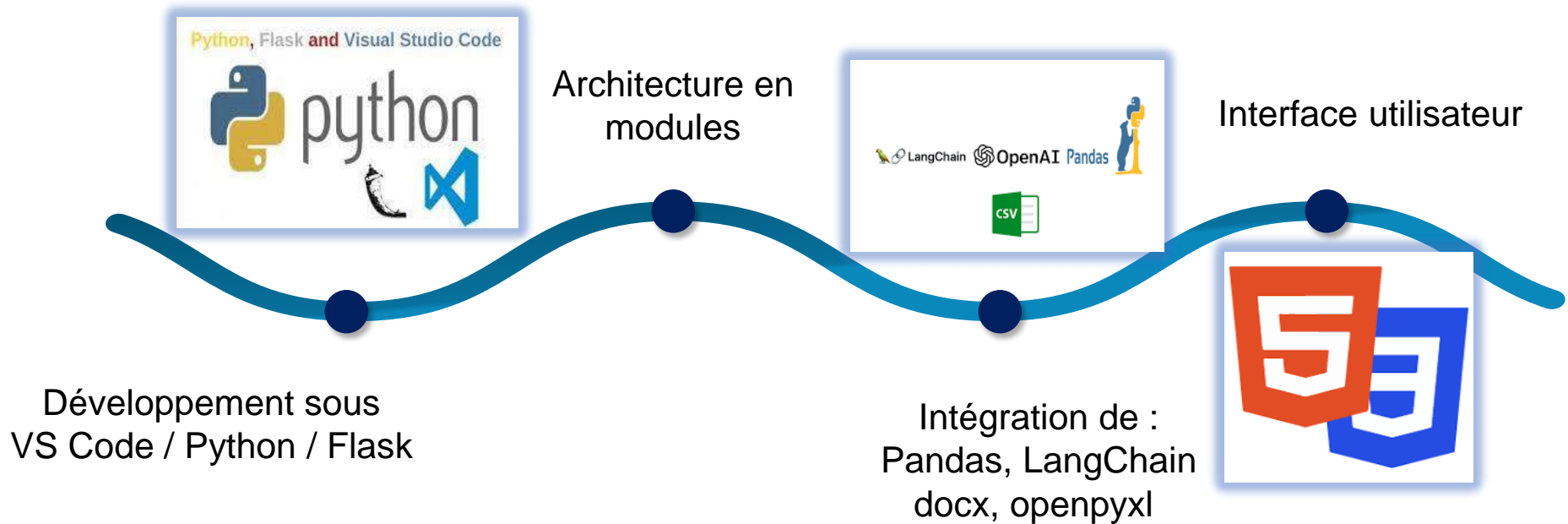
V

Application de l'IA à la maintenance industrielle : vers une maintenance 4.0



Environnement technique du projet

- Environnement technique du projet
- Architecture fonctionnelle & GitHub
- Fichier d'entrée : historique des arrêts
- Résultat AMDEC & GAMME





Architecture fonctionnelle & GitHub

Environnement
technique du projet

**Architecture
fonctionnelle &
GitHub**

Fichier d'entrée :
historique des arrêts

Résultat AMDEC &
GAMME

1. Lecture du fichier historique Excel
3. Création des gammes préventives (format Word)
2. Génération automatique de l'analyse AMDEC
4. Téléchargement depuis l'interface web

❖ **Projet versionné et documenté sur GitHub**

I. Contexte général
du projet

II. Présentation
chaudière

III. Analyse AMDEC

IV. Gammes de
Maintenance

V. Application
de l'IA

VI. Conclusion &
perspectives

Format Excel structuré : date, composant, sous-composant, cause, durée

Environnement
technique du projet

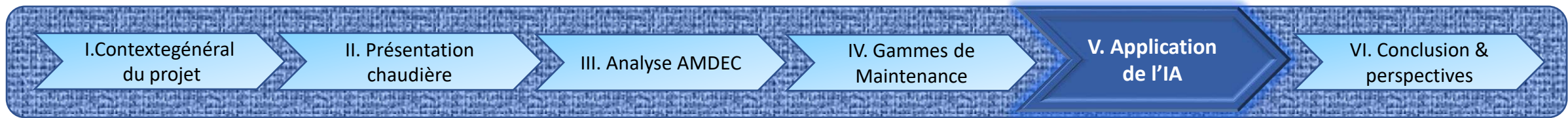
Architecture
fonctionnelle & GitHub

Fichier d'entrée :
historique des arrêts

Résultat AMDEC &
GAMME

historique_arrets_test_85lignes - Excel (Échec de l'activation du produit)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	date_arret	composant	sous_composant	cause	duree			
2	2023-03-13	Surchauffeur HT	tube porteur	fatigue	13,03			
3	2023-12-05	Réchauffeur HT	tube porteur	érosion	3,56			
4	2023-05-21	Économiseur BT	tubes suspension	fissure	14,48			
5	2023-03-24	Économiseur BT	épingle	érosion	16,79			
6	2023-04-18	Réchauffeur HT	branches sortie	érosion	8,77			
7	2023-04-02	Surchauffeur HT	collecteur sortie	fatigue	9,33			
8	2023-07-04	Réchauffeur HT	tube porteur	fatigue	23,44			
9	2023-05-02	Réchauffeur HT	tube porteur	érosion	23,07			
10	2023-02-16	Réchauffeur HT	tube porteur	fissure	12,96			
11	2023-05-17	Réchauffeur HT	collecteur entrée	fissure	10,79			
12	2023-01-08	Économiseur BT	épingle	corrosion	17,48			
13	2023-08-26	Réchauffeur HT	collecteur entrée	corrosion	4,47			
14	2023-12-19	Économiseur BT	tubes suspension	surchauffe	19,88			
15	2023-07-11	Réchauffeur HT	collecteur entrée	corrosion	11,04			
16	2023-09-04	Surchauffeur HT	collecteur sortie	érosion	14,61			
17	2023-04-09	Économiseur BT	tubes suspension	fissure	15,3			
18	2023-08-22	Économiseur BT	collecteur entrée	fissure	11,11			



Environnement technique du projet

Architecture fonctionnelle & GitHub

Fichier d'entrée : historique des arrêts

Résultat AMDEC & GAMME_IA

Extrait AMDEC générée automatiquement

Génération automatique des gammes.

Démonstration du fonctionnement



Extrait AMDEC générée automatiquement

Génération automatique des gammes.

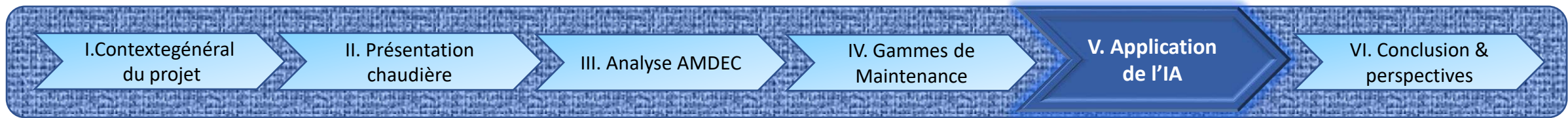
Démonstration du fonctionnement

Environnement
technique du projet

Architecture
fonctionnelle & GitHub

Fichier d'entrée :
historique des arrêts

**Résultat AMDEC &
GAMME_IA**



Extrait AMDEC générée automatiquement

Génération automatique des gammes.

Démonstration du fonctionnement

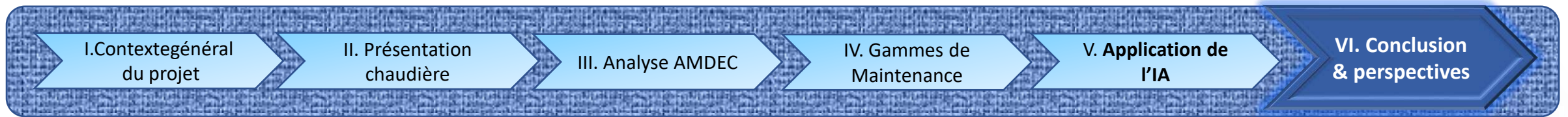
Environnement
technique du projet

Architecture
fonctionnelle & GitHub

Fichier d'entrée :
historique des arrêts

**Résultat AMDEC &
GAMME_IA**

VI | Conclusion et perspectives



- ✓ Automatisation de l'analyse AMDEC à partir d'un historique Excel structuré.
- ✓ Génération intelligente des gammes de maintenance en format Word, prête à l'emploi pour les équipes terrain.
- ✓ Développement d'un assistant IA fonctionnel, modulaire et documenté sur GitHub.
- ✓ Passage concret d'une maintenance manuelle à une maintenance digitalisée et proactive.
- ✓ Solution testée et validée sur les unités 5 & 6, transférable à d'autres centrales du groupe TAQA.



**Merci de votre
attention**

Projet de Fin d'Études pour l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur

Soutenu le 0*/07/2025 à **h**mn par:

Amélioration de la Maintenance des Chaudières et Développement d'une Solution Intelligente pour l'Automatisation de l'AMDEC et des Gammes de Maintenance au sein de TAQA Morocco

Soutenu le 0*/07/2025 à **h**mn par:

ANGUI hamza



Devant le jury composé de:

Président	(EMSI)	Pr. *****
Rapporteur	(EMSI)	Pr. *****
Examineur	(EMSI)	Pr. *****
Encadrant	(EMSI)	Pr. GHASAN ayad
Encadrant	(TAQA)	Mr. HAREK amine

Année Universitaire 2024/2025