Soutenu par

MINISTÈRE
DE LA CULTURE

Liberté
Égalité
Fraternité

EN ROUTE VERS LE ZERO REJET ATMOSPHERIQUE

Objectif **2025** : une émission de toluène mis en œuvre dans le processus d'impression **inférieure à 2%** sans consommation d'énergie supplémentaire

RAPPORT D'ETAPE

PHASE 1

Expérimentation, études, stratégie prévisionnelle

Rapport d'étape

I. INTRODUCTION

Conformément à la convention 2021 FTE 15 conclue entre le ministère de la culture et l'imprimerie Lenglet, ce rapport présente :

- les résultats des premières expérimentations menées sur les installations.
- les premières projections d'architecture matérielle
- le planning prévisionnel

Rappel

Le projet FTE 15 a pour objectif de réduire significativement les émissions de toluène à l'atmosphère en combinant deux opérations techniques : la première consiste à mieux orienter le flux d'air circulant dans les machines en canalisant au maximum les vapeurs de solvant. La seconde comprend la mise en place d'un système de concentrateur capable de piéger le solvant résiduel contenu dans le flux d'air en sortie des adsorbeurs.

1. Tests aérauliques et principes de ventilation

La zone d'émission du solvant est enfermée dans une enceinte de façon à, simultanément :

- contenir au maximum le toluène
- diminuer la surface de la zone par laquelle celui-ci peut s'échapper
- réduire les débits à mettre en jeu

Les tests de ces premiers mois ont permis d'observer les points suivants :

- la performance des volets d'aspiration afin de garantir des débits d'air suffisants
- la captation au plus près de la zone d'émission
- les mouvements naturels des flux d'airs
- la répartition non uniforme des vitesses d'air au niveau de la zone de captage
- le manque d'homogénéité dans l'apport d'air par les centrales de traitement d'air
- le rejet d'air pollué en dehors des zones de captation

Afin de forcer l'air pollué à s'écouler à l'intérieur du réseau d'aspiration, le système utilisé est de type « push-pull ». La fonction « push » (apport d'air) est assurée par des centrales de traitement d'air (CTA) dont les gaines distribuent l'air dans différentes zones de la machine. La fonction « pull » est garantie par les ventilateurs des récupérations de solvant.
Pilotée suivant les informations de concentration en solvant en 16 points de mesure, la ventilation actuelle repose sur une pression totale négative créée par la différence entre l'extraction d'air (Pull) et l'apport d'air (Push).
Les tests menés jusqu'à présent permettent notamment de démontrer que l'installation n'est pas équilibrée en tous points.

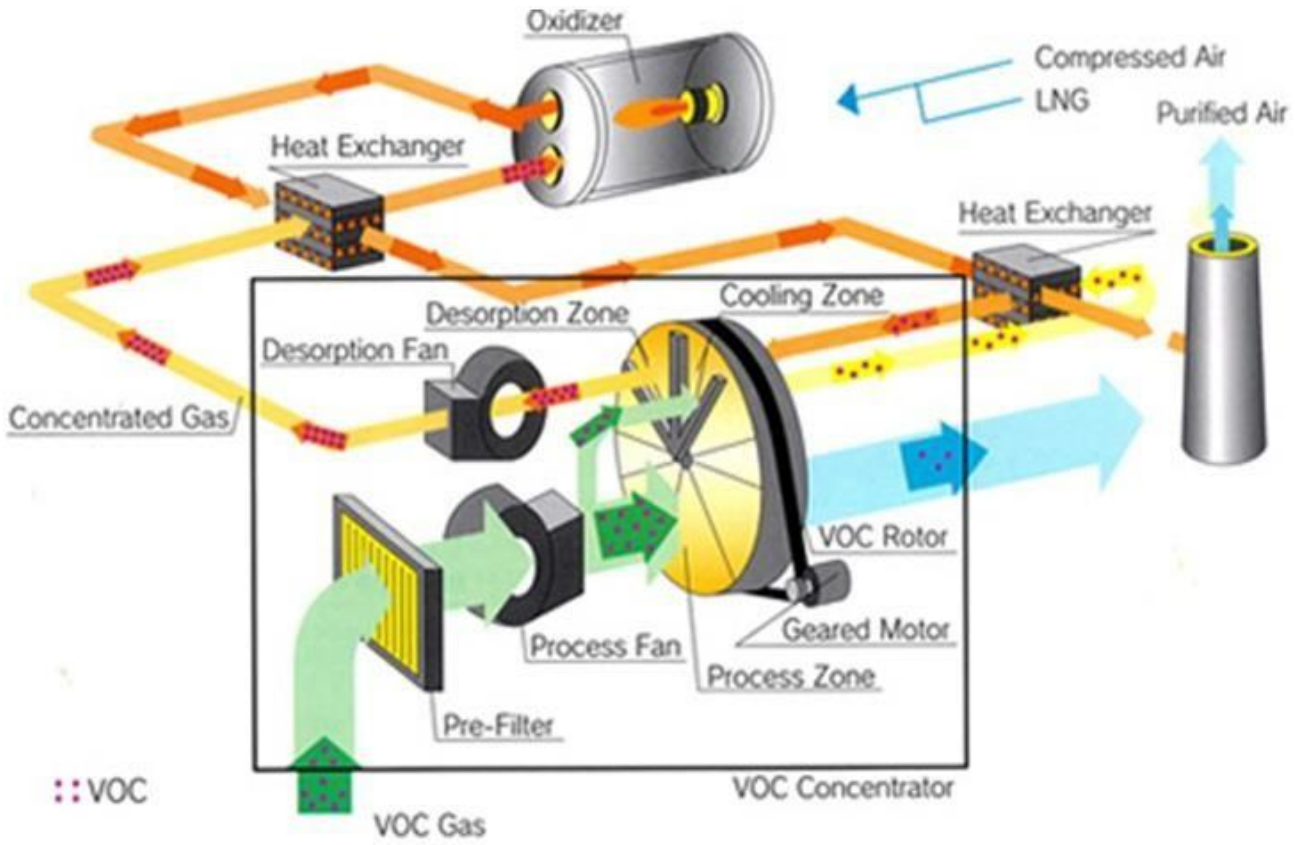
2. Etude sur le concentrateur

La roto-concentration avec zéolithes est une technologie qui n'a jamais été appliquée au domaine de l'héliogravure.

Ce type de matériel permet de traiter des débits de process compris entre 25 000 et 300 000 Nm3/h et contenant de faibles niveaux de COV. Il est constitué d'une roue chargée de zéolithes configurée précisément pour absorber de grands volumes de gaz faiblement concentrés et désorber dans un volume réduit à haute concentration.

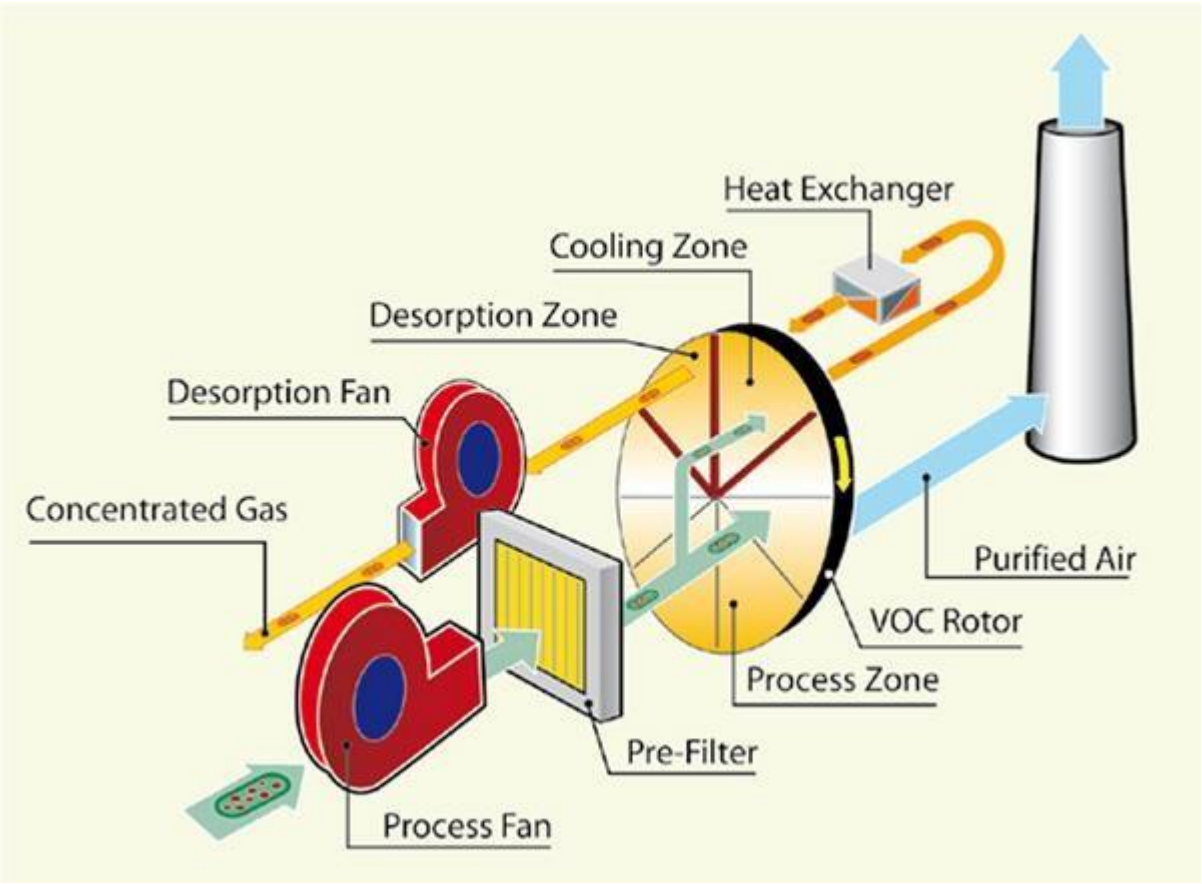
Le contaminant, généralement des COV, est retenu dans la roue de zéolithes, ce qui permet d'obtenir le gaz en sortie exempt de contaminant. Ensuite, une part du gaz traité, est chauffée et envoyée dans le roto-concentrateur à contre-courant. Ainsi se produit la désorption du contaminant préalablement retenu : il se libère dans le nouveau flux d'air et la roue de zéolithes redevient libre de tout solvant.

Les solutions techniques existantes présentent en général un roto-concentrateur combiné à une oxydation Thermique Régénérative (RTO). A la roue de zéolithes grâce à laquelle est effectué le processus d'adsorption/désorption, s'ajoute une unité d'Oxydation Thermique Régénérative (RTO). Dans certaines applications, l'objectif est même d'envoyer un flux d'air beaucoup plus concentré en COV afin de permette au système d'oxydation (RTO) d'être auto-thermique.



• • •

Pour notre application, nous avons imaginé une roto concentration sans process d'oxydation thermique. Dans notre approche technique, le rotor capte le solvant contenu dans l'air émis en cheminée d'adsorbeur et rejette au moins 90% du flux purifié en cheminée principale. La fraction restante est réchauffée pour désorber la roue. L'effluent très concentré n'est pas envoyé vers une unité de combustion, mais retourne vers la gaine principale d'aspiration de la récupération de solvant.



a) *Conception et exploitation*

La roue rotative est une structure en nid d'abeilles formée par une matrice contenant des zéolithes. Comme le charbon actif, les zéolithes offrent une très grande surface d'adsorption. Le roto-concentrateur tourne à une vitesse variable, généralement de 1 à 3 tours/heure, selon les conditions du process.

90 à 95 % de l'effluent du procédé passe à travers la roue roto-concentratrice et dans la cheminée, le toluène étant temporairement piégé par la zéolithe.

• • •

Les 5 à 10 % restants du flux sont chauffés et passent à travers une section de la roue du roto-concentrateur où la chaleur provoque la désorption du toluène de la matrice zéolitique, la ramenant, après une étape de refroidissement ultérieure, dans les conditions requises pour continuer le cycle. Ce flux plus concentré est ensuite canalisé vers la gaine principale d'aspiration de l'unité de récupération de solvant.

b) Avantages

- Capable de traiter 48000 Nm3/h d'effluent gazeux
- Taux d'abattement > 90 %
- Le lissage des pics de concentration permet d'obtenir des émissions très faibles en cheminée principale
- Faible consommation d'énergie
- Roue robuste pour une longue durée de vie (aucun remplacement périodique requis)
- Faibles coûts d'entretien

3. Planning prévisionnel

a) Cadrage

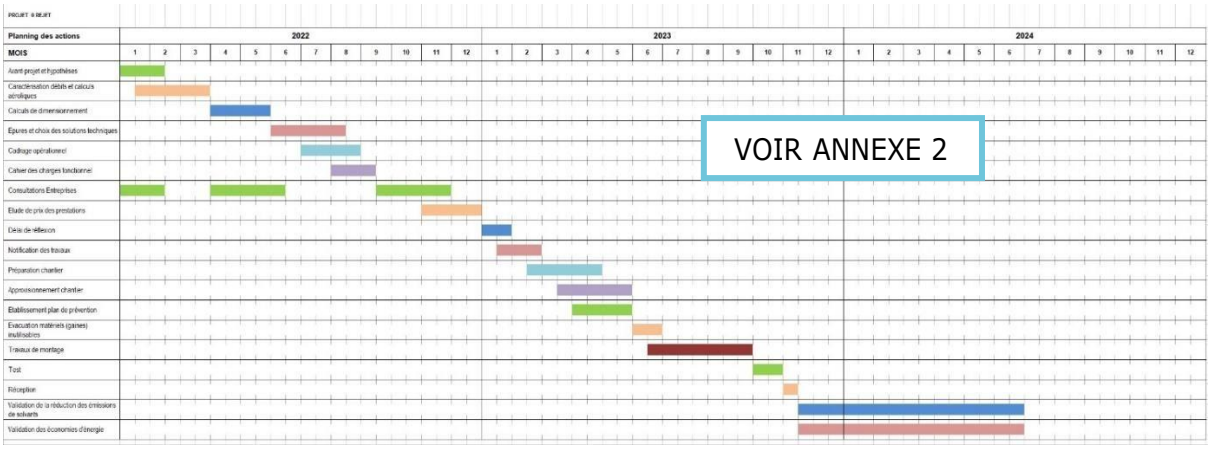
Après les études de faisabilité menées pour la demande de subvention, tous les avant-projets ont été lancés avec les partenaires de Lenglet Gravure. Les chefs de projets sont nommés, les équipes sont constituées et les principaux livrables sont définis.

La liste des besoins techniques permettant d'atteindre 2% de rejets à l'atmosphère est quasiment exhaustive, notamment sur la question du concentrateur.

b) Objectif de conception et de planification

L'équipe projet définit dans le détail ce qui doit être fait, comment et avec quels moyens. L'annexe 1 du présent document présente les ressources mobilisées jusqu'à présent et le budget associé en intégrant les différentes charges : prestations externes, support interne, les moyens matériels et les autres achats.

La conception du concentrateur est réalisée à 80%. Il reste à définir l'énergie utilisée pour l'échangeur. Les différentes étapes du projet global sont consultables sur le diagramme de Gantt placé en Annexe 2.

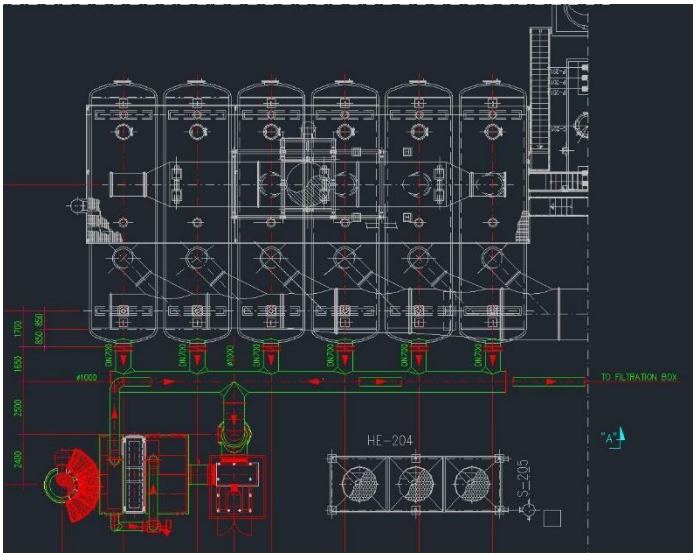


c) *Objectifs de réalisations des projets*

La mise en œuvre concrète des éléments planifiés interviendra dès le deuxième semestre 2022.

Le groupe projet Lenglet / Bail œuvre dans le déploiement de solutions aérauliques pour satisfaire rapidement l'objectif de canalisation de l'air. Le Bureau d'étude de la société Brofind quant à lui, termine les plans d'implantation du concentrateur

L'avancée des activités, le planning, les dépenses et les résultats sont conformes au plan projet initial.

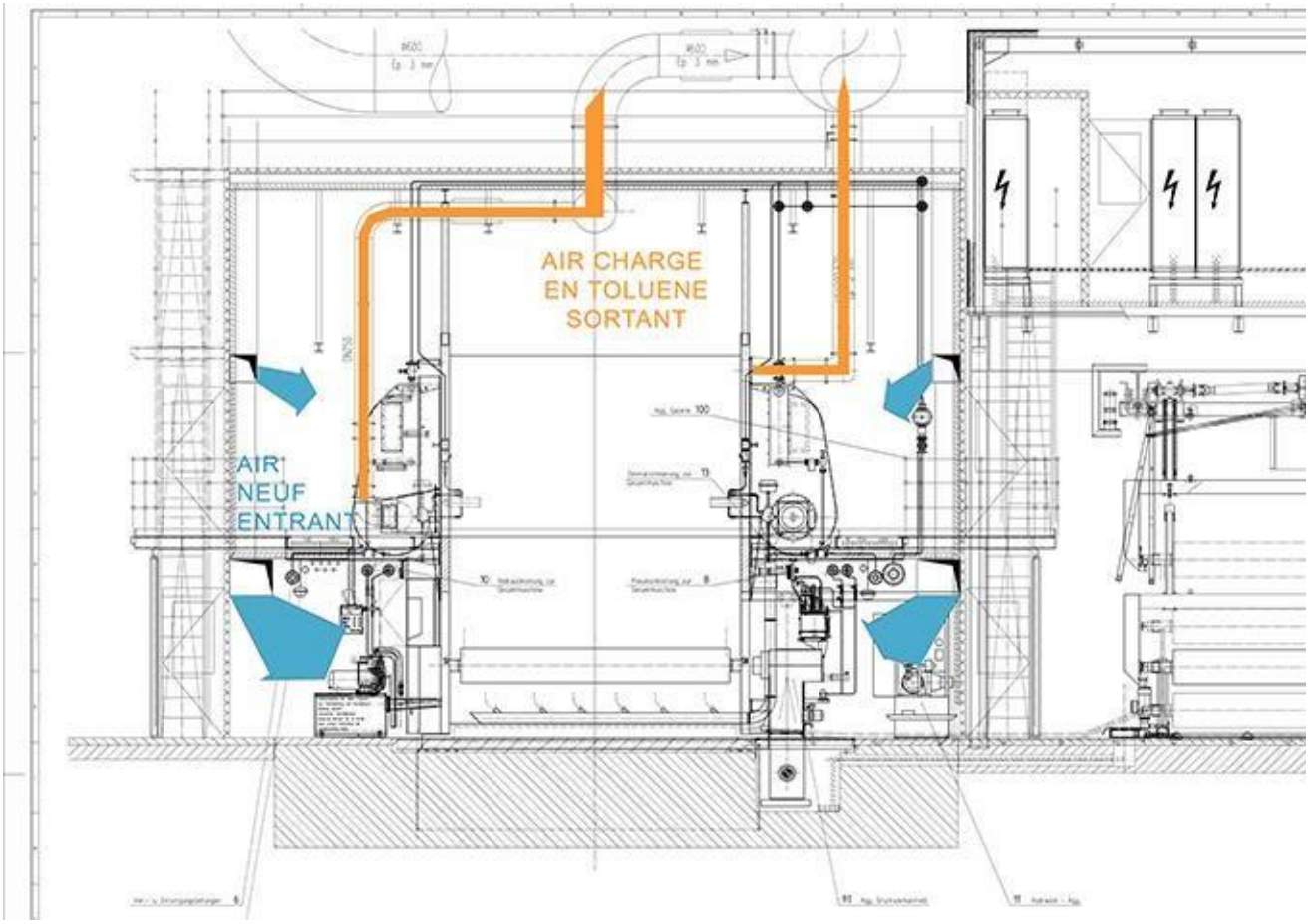


d) *Objectifs de clôture*

La fin des travaux a été fixée à septembre 2023. Elle sera suivie d'un test d'évaluation de deux mois, avec un objectif : mesurer un rejet inférieur à 2% du toluène mis en œuvre dans l'installation.

Les principaux acteurs impliqués, équipe projet et utilisateurs clés rédigeront un bilan de synthèse pour présenter les résultats au terme de cette expérience.

II. MESURES AERAULIQUES



Gaines provenant des CTA et assurant la fonction « PUSH »

Gaines associées à la fonction « PULL » assurée par les ventilateurs des récupérations de solvant

• • •

Il est nécessaire que les vitesses et les débits d'air soient rééquilibrés dans toute l'enceinte de façon à forcer le toluène à s'écouler à l'intérieur du réseau d'aspiration.

Les valeurs à mettre en jeu sont calculées sur la base des organes de ventilation existants. Les enceintes des rotatives enferment la source d'émission de toluène presque complètement avec des ouvertures de petite taille pour le passage du papier.

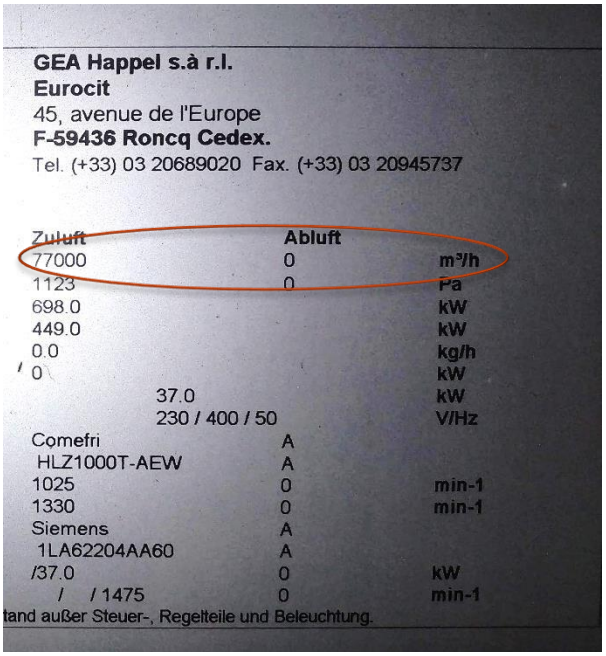
Néanmoins, la circulation du papier au travers des ouvertures créé une vitesse d'air ce qui permet au polluant émis à l'intérieur de s'en échapper.

Dans le cas général, la relation entre débit et vitesse se calcule suivant la formule :
Q = A Ve
Q : débit d'aspiration (m^3/s)
A : aire totale des ouvertures (m^2)
Ve : vitesse d'entrée de l'air au travers des ouvertures vers l'intérieur (m/s).

ÉCOULEMENTS : QUELQUES REMARQUES CONCERNANTS LES DÉBITS ET VITESSES

LES DEBITS

Dans notre industrie, l'habitude a été prise de les exprimer en mètre cube par heure [m^3/h], comme indiqué sur les centrales d'air.


GEA Happel s.à r.l.
Eurocit
45, avenue de l'Europe
F-59436 Roncq Cedex.
Tel. (+33) 03 20689020 Fax. (+33) 03 20945737

Zuluft	Abluft	
77000	0	m³/h
1123	0	Pa
698.0		kW
449.0		kW
0.0		kg/h
/ 0		kW
37.0		kW
230 / 400 / 50		V/Hz
Comefri	A	
HLZ1000T-AEW	A	
1025	0	min-1
1330	0	min-1
Siemens	A	
1LA62204AA60	A	
/37.0	0	kW
/ / 1475	0	min-1

tand außer Steuer-, Regelteile und Beleuchtung.

Il faut également préciser que nous exprimons le débit en débit normé. C'est le débit qu'aurait l'air en cause si sa masse volumique était ramenée à 1,20 [kg/m^3].

LES VITESSES

La majorité des écoulements d'air sont turbulents. Ce qu'on désigne par vitesse de l'air est en fait sa moyenne dans le temps en un point donné.
Dans notre cas le débit est connu et nous utiliserons essentiellement la relation sous la forme V = Q / A.

a) *Vitesse d'air dans la fonction « PUSH »*

L'apport d'air est se fait sur une surface totale de 9,45 m²
Au débit minimum de 60000 m3/h, la vitesse moyenne d'entrée sera (en m/s) de

$$\frac{60\,000\,\frac{1}{3600}}{9.45} = 1.76$$

Au débit maximum de 105 000 m3/h, elle devient

$$\frac{105\,000\,\frac{1}{3600}}{9.45} = 3.09$$

b) *Vitesse d'air dans la fonction « PULL »*

L'extraction d'air au débit minimum de 60000 m3/h est effectuée sur une surface totale de 1.20 m². La vitesse en m/s est de :

$$\frac{60\,000\,\frac{1}{3600}}{1.2} = 13.9$$

Au débit maximum de 105 000 m3/h, la gaine d'extraction supérieure est fermée et seuls les sécheurs permettent d'aspirer les effluents. La surface d'aspiration dans les sécheurs est de 3.84 m²

$$\frac{105\,000\,\frac{1}{3600}}{3.84} = 7.6$$

c) *Interprétation des résultats théoriques*

Ces résultats théoriques présentent un principe de ventilation cohérent avec des vitesses d'écoulement conformes au principe de « push-pull ». Les vitesses d'air entrant sont notablement inférieures aux vitesses d'air extrait, créant ainsi des flux accélérés et canalisés dans l'enceinte.

Ces calculs sont simples dans leur présentation théorique mais les mesures en conditions réelles le sont beaucoup moins. Elles sont toujours en cours et feront

• • •

l'objet d'une présentation détaillée dans le deuxième rapport d'étape.

Le circuit actuel offre une assez grande souplesse pour des modifications ou des extensions ultérieures. A ce stade, nous avons minutieusement vérifié les registres et avons changé les actionneurs pneumatiques pour un meilleur ajustement des débits selon les concentrations ponctuelles en toluène dans les sécheurs.

III. CONCEPTION DU CONCENTRATEUR

Comme expliqué en introduction, l'utilisation de cette technologie est adaptée au traitement de débits d'air contenant de faibles quantités de COV. Dans notre cas, le but est d'augmenter l'efficacité de réduction du toluène en traitant l'émission à la cheminée principale de la récupération de solvant.

Le cœur de ce type de concentrateur est un rotor en zéolithe qui tourne à vitesse constante. Les deux principes sur lesquels repose cette technologie sont les suivants :

- Les COV présents en sortie de centrale URS2 peuvent être adsorbés par la zéolithe, puis éliminés à haute température par un débit d'air plus faible.
- La rotation du rotor permet de faire fonctionner cycliquement chaque secteur en trois phases différentes : adsorption, régénération (c'est-à-dire désorption) et refroidissement.

Le cycle complet peut être décomposé comme suit :

a) Aspiration

L'air provenant de l'unité de récupération de solvant, qui contient encore une petite quantité de solvant, est aspiré par un ventilateur dédié et envoyé au roto-concentrateur. L'aspiration est garantie par une boucle de régulation agissant sur le variateur de fréquence du ventilateur. De cette façon, il est toujours possible d'aspirer le bon débit d'air en fonction des conditions de production effectives.
Afin d'optimiser la taille du roto-concentrateur (et donc de réduire ses consommations), nous ne prévoyons de traiter que l'air provenant de l'adsorbeur le plus proche du point de saturation.

b) Filtration

Afin de protéger la structure alvéolaire de la zéolithe du rotor, il est nécessaire d'installer une unité de pré-filtration dédiée à l'élimination fine des particules solides.

• • •

c) *Adsorption*

La plus grande section du rotor travaille en phase d'adsorption ; la majeure partie de l'air chargé de solvant traverse cette section et est ensuite rejetée dans l'atmosphère par la cheminée.
Nos rotors utilisent des zéolithes A&B combinées entre elles, pour atteindre les performances d'adsorption les plus élevées possibles.

d) *Régénération*

La régénération de la zéolithe est réalisée par une partie mineure du flux d'air d'admission (< 10%), qui, après avoir traversé la section de refroidissement (décrite ci-dessous), est chauffée à la température requise à l'aide d'un échangeur de chaleur à vapeur (énergie à confirmer - d'autres solutions sont étudiées).

L'air chaud peut être envoyé à la section de régénération du rotor, dans laquelle les COV sont libérés de la zéolithe par désorption thermique.
Cet air concentré peut être renvoyé en amont de l'unité de récupération de solvant.

e) *Refroidissement*

Une partie mineure du flux d'air d'admission traverse une petite section de zéolithe chaude (celle qui vient d'être régénérée), afin de la refroidir à nouveau à une température adaptée à l'adsorption. Cet air préchauffé est ensuite envoyé vers l'unité de régénération (décrite ci-dessus).

Le fonctionnement de ce système sera automatique, géré au moyen d'un automate de nouvelle génération avec une interface utilisateur simple.

Les hypothèses de travail pour la conception du concentrateur par la société Brofind sont les suivantes :

Parameter	U.M.	Max
Airflow	Nm^3/h	47,500
Temperature	°C	35
Static pressure	mbar	-5
VOC concentration	mg/Nm^3	300

VOC	Weight fraction
Toluene	100%

Dusts	mg/Nm³	Absent
Other VOCs	mg/Nm³	Absent
Chlorinated compounds	mg/Nm³	Absent
Nitrogenous compounds	mg/Nm³	Absent
Inorganic compounds	mg/Nm³	Absent

Conditions géographiques

Altitude	m a.s.l.	< 100
Min. temperature	°C	-10
Max. temperature	°C	40
Wind speed	km/h	< 100
Seismic zone	#	According to site location

Caractéristiques techniques

Electric energy	*m.u.*	
Voltage	V	400
Frequency	Hz	50
Phases	#	3
Installed power	kW	60
Adsorbed power	kW	42

Steam	*m.u.*	
Pressure	barg	8,0
Temperature	°C	180
Max. flow	kg/h	130

Compressed air	*m.u.*	
Pressure min.	barg	6
Temperature max.	°C	30
Dew point	°C	-25
Notes	Dust and oil free	

La description de la fourniture fera l'objet d'une présentation détaillée dans le deuxième rapport d'étape.
A ce stade, nous avons validé la conception du ventilateur principal, des éléments filtrants, et du rotor. Il reste à préciser les caractéristiques :

- du moteur et de son variateur de vitesse
- du ventilateur de régénération, moteur et variateur
- des vannes de régulation et de fermeture automatique
- des sécurités manuelles
- des structures métalliques et charpentes
- des conduits et canalisations

Les organes de contrôle, supervision et software seront conçus par le service automatisme de Brofind sur une architecture Siemens Simatic S7 1500

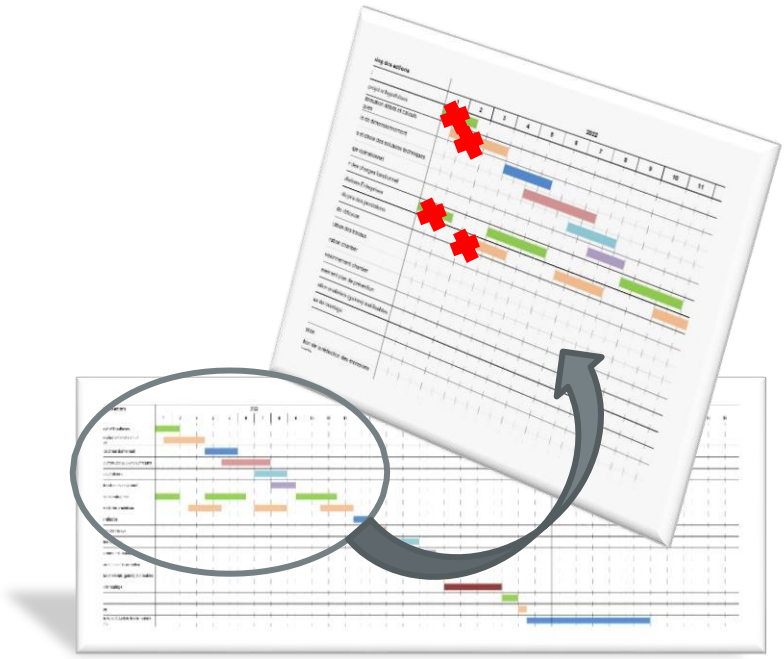
L'unité sera contrôlée au moyen d'un système de supervision installé sur un PC dédié. Grâce au système de supervision, il sera possible de surveiller, d'enregistrer et de contrôler les paramètres de fonctionnement de l'installation.

Les diagnostics seront facilités par des lay-out présentant l'installation et permettant d'identifier facilement d'éventuelles pannes.

Toutes les alarmes provoquant un arrêt direct du système seront récupérables sur la supervision centralisée Eryma de la société Lenglet.

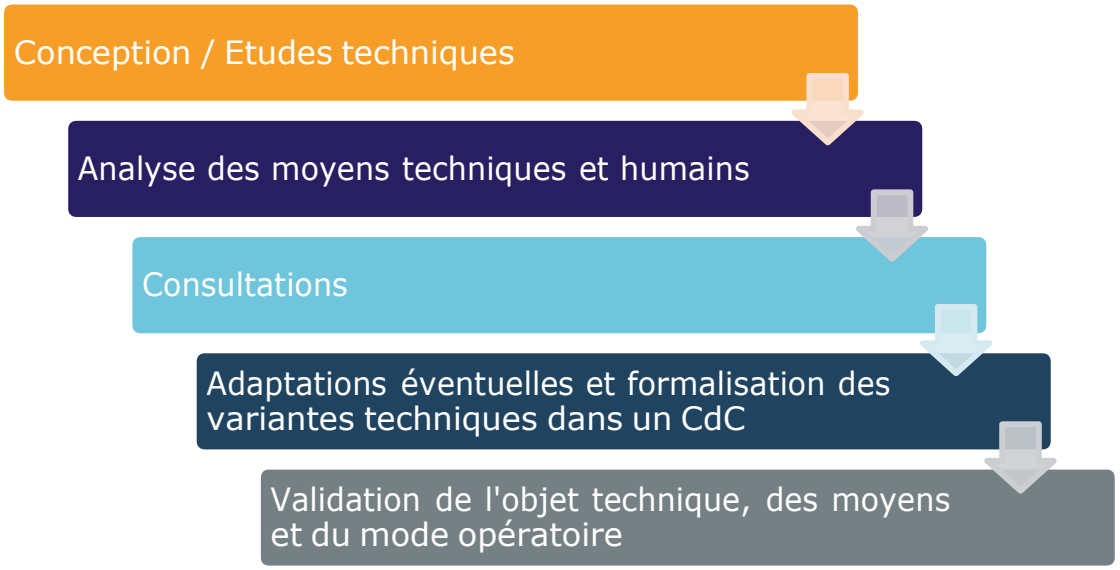
IV. PLANNING ET STRATEGIE PREVISIONNELLE

Les premières tâches du projet ont été réalisées conformément au planning fixé par l'équipe. Les sociétés Bail, Brofind et Lenglet travaillent en concertation continue afin d'imaginer les solutions techniques les plus performantes.



Au fur et à mesure de la conception, l'équipe projet déclenche les consultations et rédige les cahiers des charges techniques afin d'obtenir des devis quantitatifs estimatifs en adéquation avec la trame de la convention FTE 15.

Méthodologie de l'équipe projet pour chaque objet technique de la nouvelle installation :



V. CONCLUSION

Le but du projet global étant de concevoir un processus de récupération regroupant une structure d'aspiration, un roto-concentrateur et une interface logiciel moderne et performante, on peut considérer que le travail réalisé par l'équipe projet ces premiers mois est conforme à l'objectif visé.

À la lumière des différentes étapes parcourues et présentées dans ce rapport, il apparait que la principale partie de la conception du roto-concentrateur est achevée. Cette étude était déterminante puisque la captation du toluène par la roue zéolithe constitue le point central de la solution.

Les bureaux d'études associés dans l'équipe projet ont entre autres déterminer les paramètres géométriques optimaux permettant de respecter l'exigence de réduction significative des rejets et de diminution des quantités de vapeur à mettre en œuvre pour la désorption.

D'ici la fin 2022, le second rapport d'étape proposera une description exhaustive des différents objets techniques conçus et installées ainsi que les étapes chronologiques qui ont mené à l'obtention de l'architecture finale du système.

En ce qui concerne la partie aéraulique, la présentation des divers résultats lui étant associée fera l'objet d'un rapport annexe. En effet, la réduction des rejets dans la machine autour des zones d'émission a un double avantage :

- Moins de perte de toluène par rejets diffus
- Moins d'exposition des salariés aux vapeurs de solvant

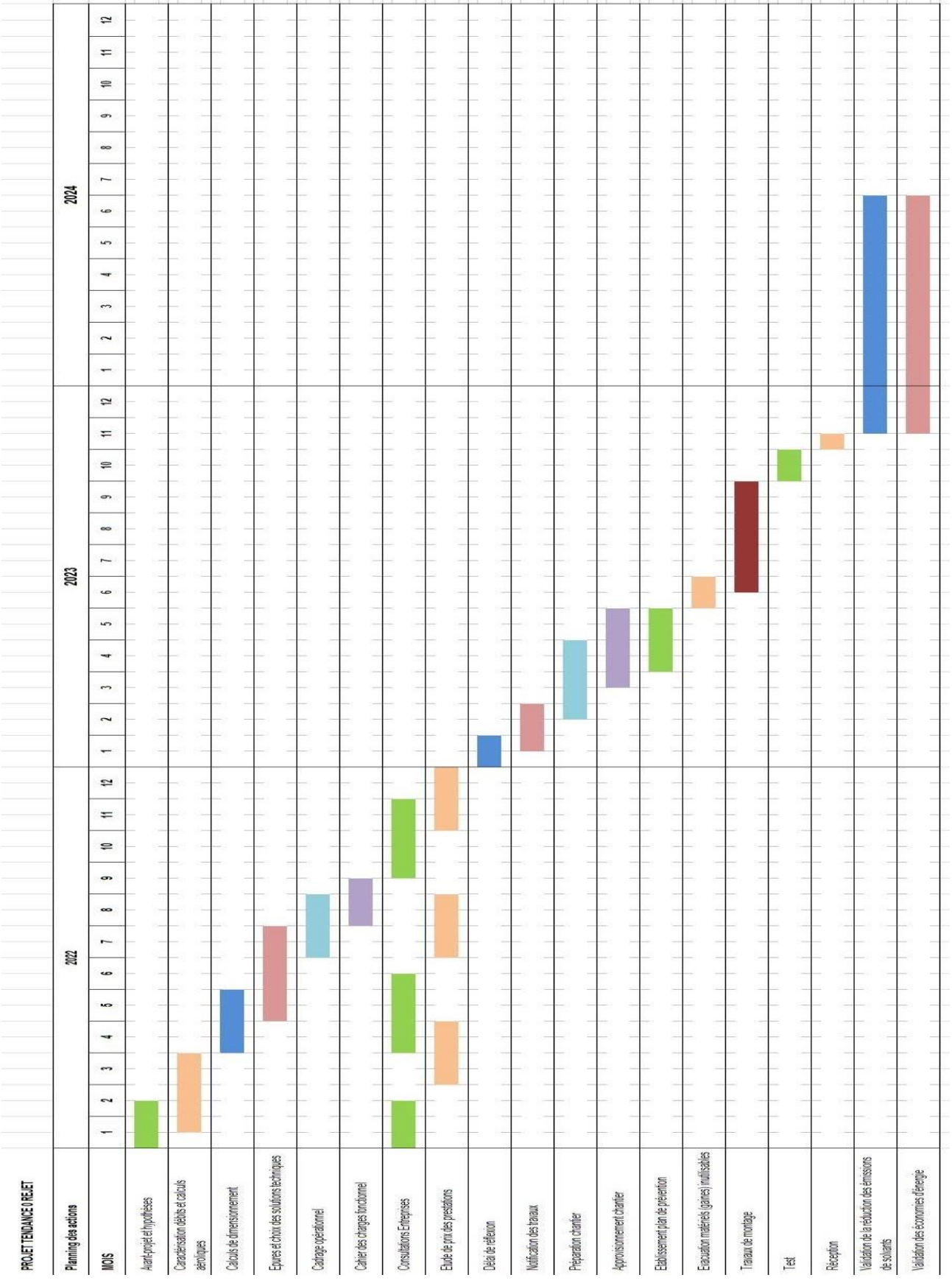
Ce dernier point est également au cœur de nos préoccupations puisqu'il concerne directement la vie quotidienne et la santé des salariés.

Suivi de projet - Ressources Humaines Période du 06/12/21 au 31/03/2022

CONFIGURATION

Catégorie	Affecté à	Présence (en heures)	Travail BE (en heures)	Taux horaire	TOTAL	Début période	Fin de période	Notes
Mesures Aérauliques	Technicien BAIL	15,50	0,00	60,00 €	930,00 €	28/01/2022	29/01/2022	
Mesures Aérauliques	Ingénieurie/Encadrement BAIL	39,00	13,00	92,00 €	4 784,00 €	26/01/2022	25/03/2022	
Mesures Aérauliques	Technncien DALKIA	15,50		60,00 €	930,00 €	28/01/2022	29/01/2022	
Mesures Aérauliques	Technicien Lenglet	15,50		50,00 €	775,00 €	28/01/2022	29/01/2022	
Mesures Aérauliques	Ingénieurie/Encadrement Lenglet	0,00	21,00	100,00 €	2 100,00 €	28/01/2022	29/01/2022	
Concentrateur	Ingénieurie/Encadrement Brofind	6,00	139,00	125,00 €	18 125,00 €	06/12/2021	30/03/2022	(Ctrl)
Concentrateur	Ingénieurie/Encadrement Lenglet	6,00	45,00	100,00 €	5 100,00 €	06/12/2021	30/03/2022	
CTA	Ingénieurie/Encadrement BAIL	26,00	0,00	92,00 €	2 392,00 €	14/02/2022	18/02/2022	
CTA	Technicien BAIL	26,00	0,00	60,00 €	1 560,00 €	14/02/2022	18/02/2022	
CTA	Technicien Lenglet	26,00		50,00 €	1 300,00 €	14/02/2022	18/02/2022	
CTA	Ingénieurie/Encadrement Lenglet	10,00	0,00	95,00 €	950,00 €	14/02/2022	18/02/2022	
CTA	Technncien DALKIA	26,00		60,00 €	1 560,00 €	14/02/2022	18/02/2022	
Ventilation URS	Ingénieurie/Encadrement Lenglet	23,00	4,00	95,00 €	2 565,00 €	24/01/2022	28/01/2022	En collaboration avec DV Group.
Ventilation URS	Technncien DALKIA	8,00		60,00 €	480,00 €	29/03/2021	30/03/2021	
Autres	Ingénieurie/Encadrement BAIL	8,00	0,00	92,00 €	736,00 €	10/03/2022	11/03/2022	Inspection des gaines en toiture
					44 287,00 €			

ANNEXE 2


PROJET TENDANCE O REJET
Planning des actions
MOIS
2022
2023
2024
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
Avant-projet et hypothèses
Caractérisation débits et calculs aérauliques
Calculs de dimensionnement
Epures et choix des solutions techniques
Cadrage opérationnel
Cahier des charges fonctionnel
Consultations Entreprises
Etude de prix des prestations
Délai de réflexion
Notification des travaux
Préparation chantier
Approvisionnement chantier
Etablissement plan de prévention
Evacuation matériels (gaines) inutilisables
Travaux de montage
Test
Réception
Validation de la réduction des émissions de solvants
Validation des économies d'énergie