PROJET CLUM. IMMEUBLE LUMIÈRE PARIS. TAR ICPE 2921. E

ANNEXES DES INCIDENCES NOTABLES

PJ n°9

1- Incidence sur l'environnement physique
- Topographie 2
- Géologie. Pollution des sols 2
-Hydrologie- PPRI 3

2- Incidence sur l'environnement naturel
. ZNIEFF 9
.Arrêté de biotope 10
. Réserves 11
. Sites classés / sites inscrits 12
. Parcs naturels 13
. Trame verte et bleue SRCE 14
. Zones humides 16

3- Incidence sur le patrimoine historique et culturel
. SPR 17
. Monuments historiques 18
. Patrimone UNESCO 19

4- Incidence sur la qualité de l'air et la santé
.Etude de modélisation CFD 21

❒ Topographie

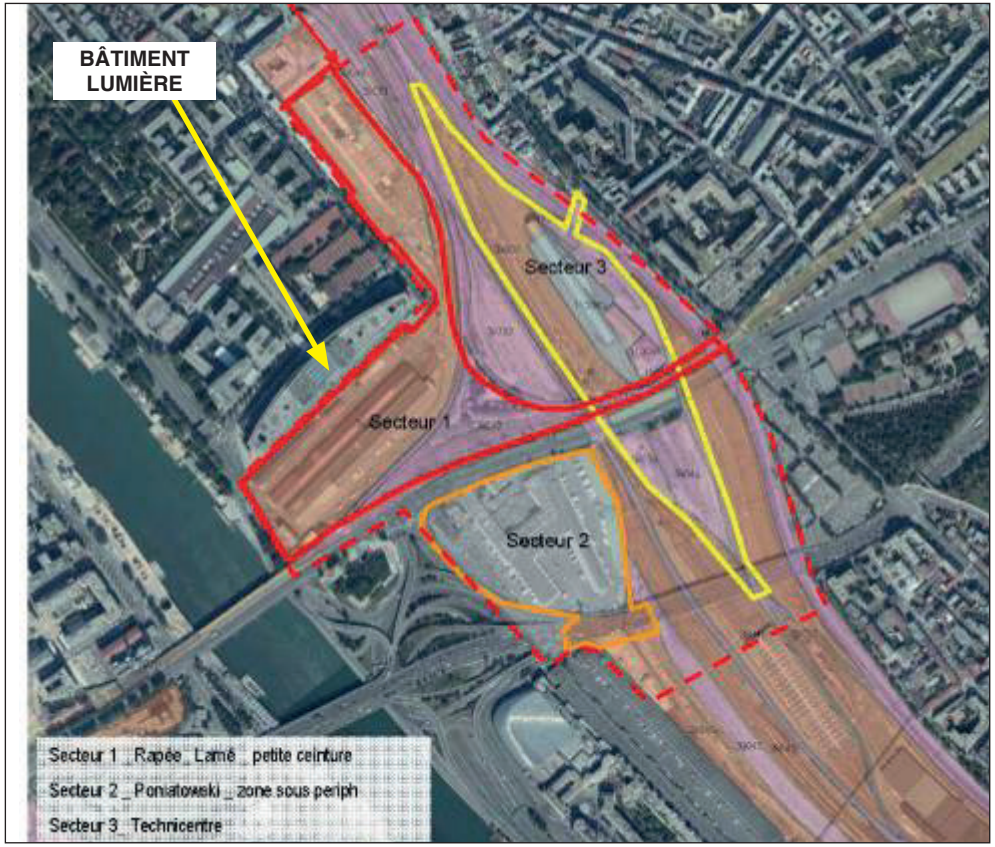
La seule incidence du projet, de façon indirecte, sur la topographie, consiste en un décaissement de 500 m^3 environ, correspondant à l'installation des nouveaux groupes froids au niveau SS4.

❒ Géologie. Pollution des sols

(*source: étude d'impact de la ZAC Bercy. Etat Initial p.B-13. Mairie de Paris. juillet 2018*)

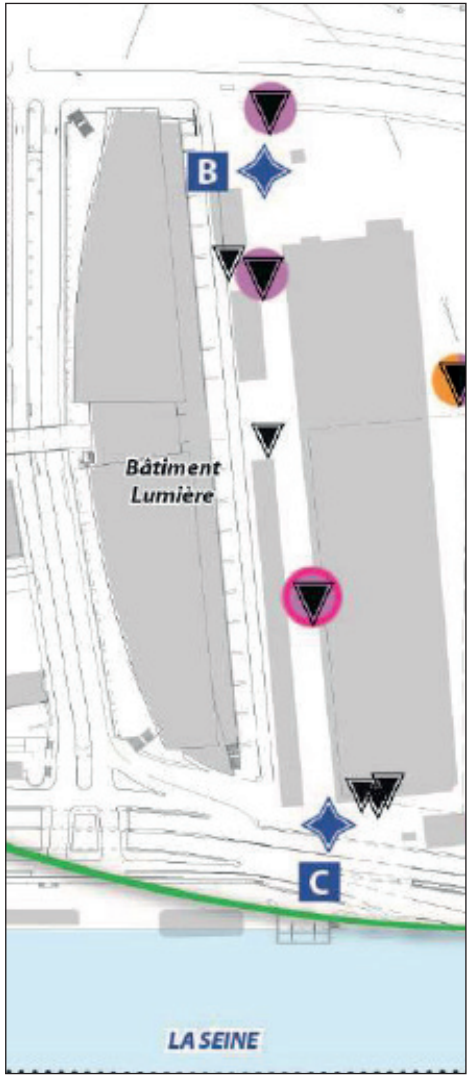
Le quartier est le support, depuis la seconde moitié du XIXème siècle, d'une activité ferroviaire.
De façon plus précise, le bâtiment Lumière est localisé en lisière du secteur 1 (Rapée . Lamé. Petit ceinture), qui appartient au périmètre "ferroviaire".
les études historiques conduites par EGIS en 2013 font état des principaux sites et activités industriels identifiés entre autres sur ce secteur : "*Selon l'étude historique, ce secteur a notamment accueilli certains éléments sensibles (poste transformateur, stockages, une zone de maintenance de véhicules, une sous-station électrique...). Ces éléments n'ont toutefois pas été retenus comme source potentielles de pollution en raison de la présence d'un niveau de sous-sol (Rapée inférieure) sous ces installations).*
Sur la petite ceinture, il a également été mis en évidence la présence d'une fosse de maintenance, d'une cuve FOD (fioul oil domestique) et d'une station-service."

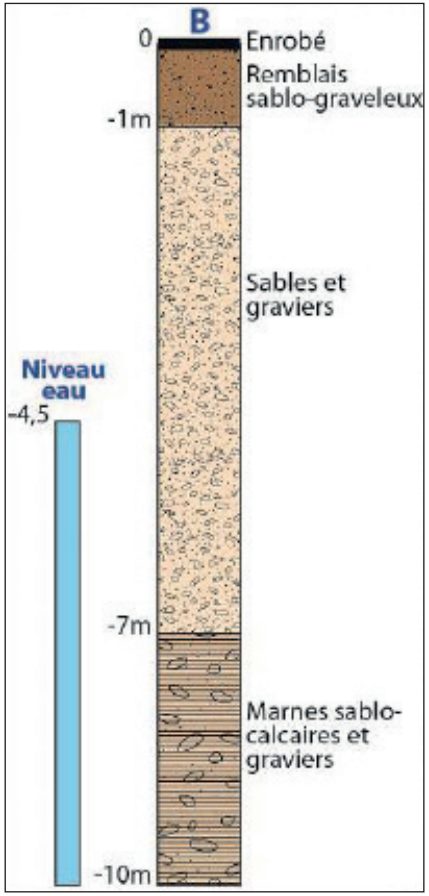
Conclusion sur la pollution des sols et de l'eau
"*Une utilisation historique du site (activités ferroviaires, remblais...) et actuelle propice à la présence de polluants ;*
.Sur l'ensemble de la zone " ferroviaire", entre la rue de Charenton et la Seine, présence d'une pollution globalement diffuse aux hydrocarbures totaux, HAP et aux BTEX ;
.Peu de points présentent des valeurs significatives de pollution (pollution ponctuelle avec des valeurs significatives en HCT et HAP au niveau de la Rapée inférieure) ;
. Aucun impact significatif recensé sur les eaux souterraines"

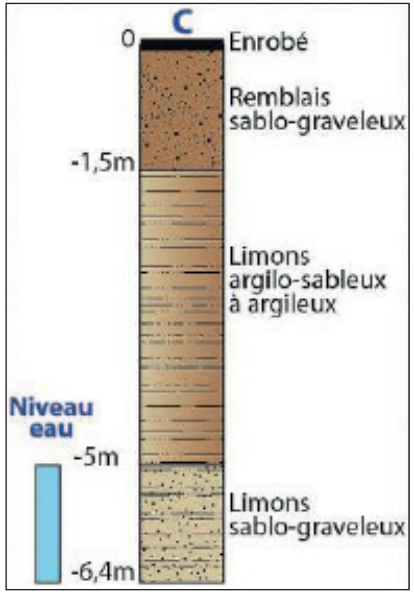


REPÉRAGE DES SECTEURS ÉTUDIÉS POUR LA POLLUTION DES SOLS
Source: Etude d'impact de la ZAC Bercy. juillet 2018

Piézomètre
Sondage
Rapport Egis structures & envir. du 11 avril 2014 :
Dépassement de la valeur de référence de niveau 2
Dépassement de la valeur de référence de niveau 1 (Métaux
Dépassement des valeurs de l'arrêté du 28-10-2010 :
Hydrocarbures
HAP
BTEX







Deux sondages ont été réalisés à proximité du bâtiment Lumière: B et C. Les coupes ci-contre indiquent la composition des sols et le niveau de l'eau.

En termes de pollution, on observe des dépassements de valeurs pour les métaux, mais en revanche pas de sujet hydrocarbures, HAP et BTEX.

Les sols décaissés au niveau -4 (volume estimé: 500 m³) feront l'objet d'une analyse de façon à préciser leur mode d'évacuation dans des CET (Centre d'Enfouissement Technique):
CET de classe 1 pour les déchets dangereux
CET de classe 2 pour les déchets dits "non dangereux"
CET de classe 3 pour les déchets inertes .

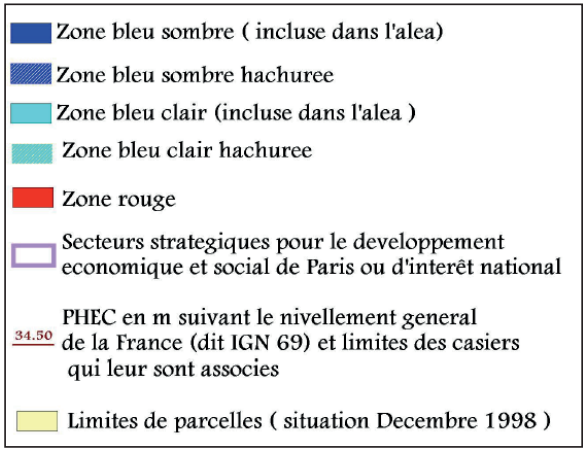
GÉOLOGIE ET POLLUTION DES SOLS
Source: Etude d'impact de la ZAC Bercy. juillet 2018 / Soberco Environnement

L'immeuble Lumière est concerné par le PPRI, localisé en zone bleue sombre à la cote casier 35,00 NGF de celui-ci.
La zone bleue correspond aux zones urbanisées situées en zone inondable. La zone bleu sombre est soumise à des prescriptions plus sévères, correspondant à des secteurs de bâtis importants exposés à des niveaux de submersion potentiellement supérieurs à un mètre.

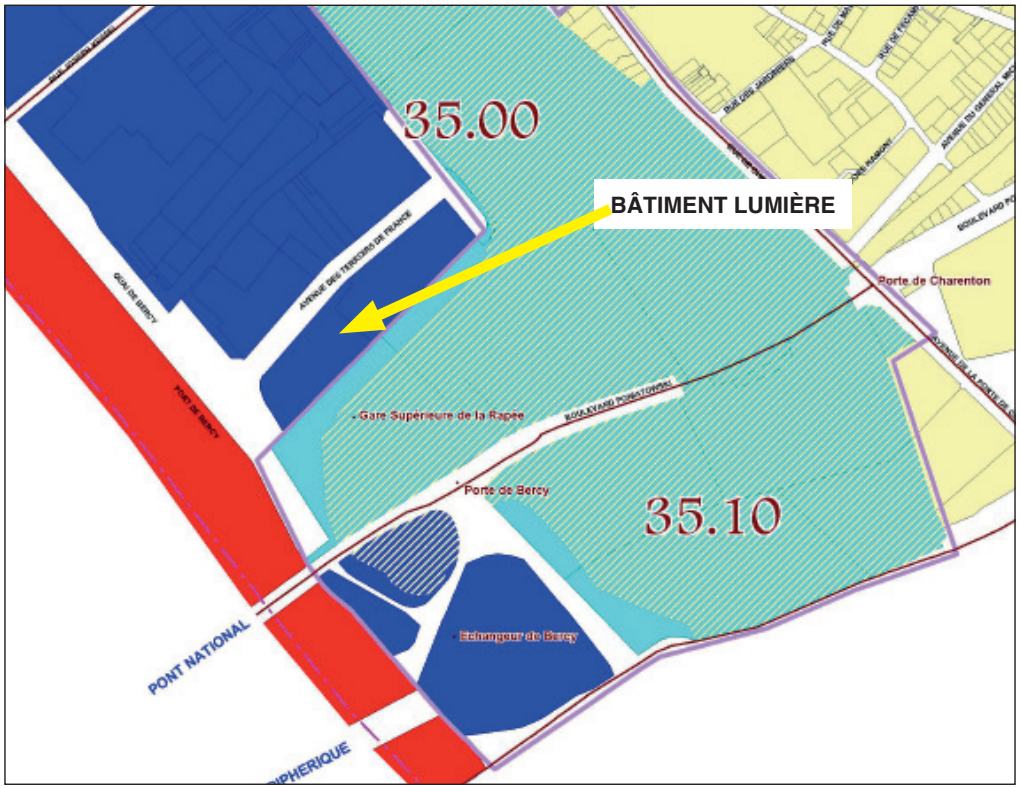
Les prescriptions fixées pour la zone bleue ont pour objectif (notamment) :
- la réduction des activités pouvant présenter un risque pour l'environnement dans les zones d'aléa le plus fort, et à prévenir les dommages à l'environnement par l'intermédiaire des eaux du fleuve en crue ou de la nappe;
- la réduction des risques en interdisant le stockage de biens sensibles ou coûteux dans les niveaux inondés, sauf à prendre des dispositions particulières;
- pour les constructions neuves, l'obligation d'intégrer la connaissance du risque dans les techniques constructives et dans l'occupation des niveaux inondables.

Les principales dispositions relatives à la zone bleue sont les suivantes (notamment) :
- les machineries et équipements vitaux des bâtiments doivent être protégés, les compteurs d'électricité ou de gaz installés au-dessus de la cote des PHEC;
- les techniques de construction et les matériaux employés doivent garantir une pérennité structurelle des bâtiments malgré une immersion prolongée de plusieurs jours;

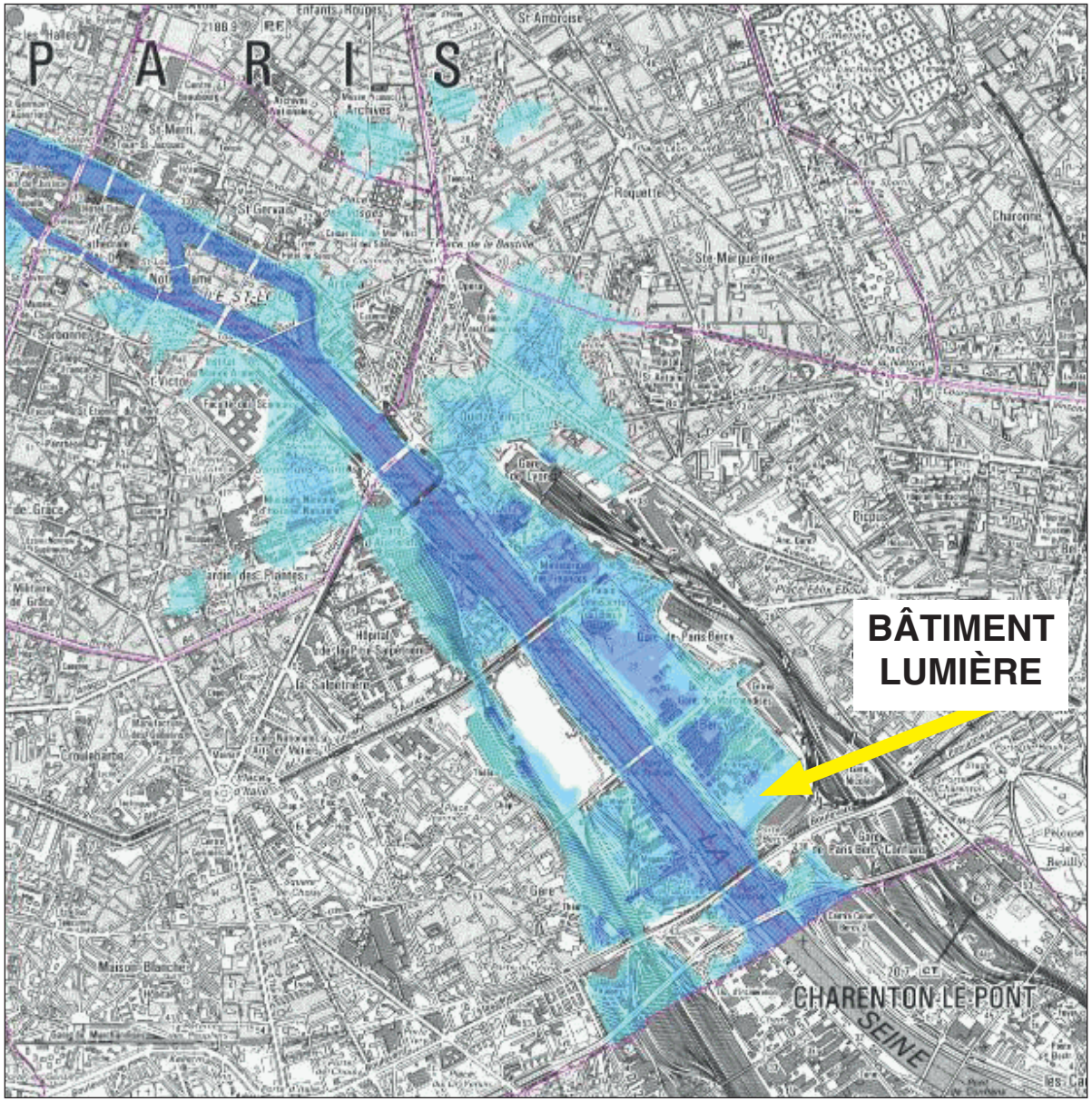
Par ailleurs certaines prescriptions spécifiques à la zone bleu sombre concernent les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), soumises à autorisation.



La centrale groupe froid est implantée au niveau -4 (26,03 NGF), soit à quasi 9m sous le niveau de la cote casier (crue centennale 1910) qui est à 35,00 NGF.



LOCALISATION DU SITE DANS LE PPRI
Source: PPRI de Paris 12ème. Carte de zonage. Annexé à l'arrêté du 19 avril 2007



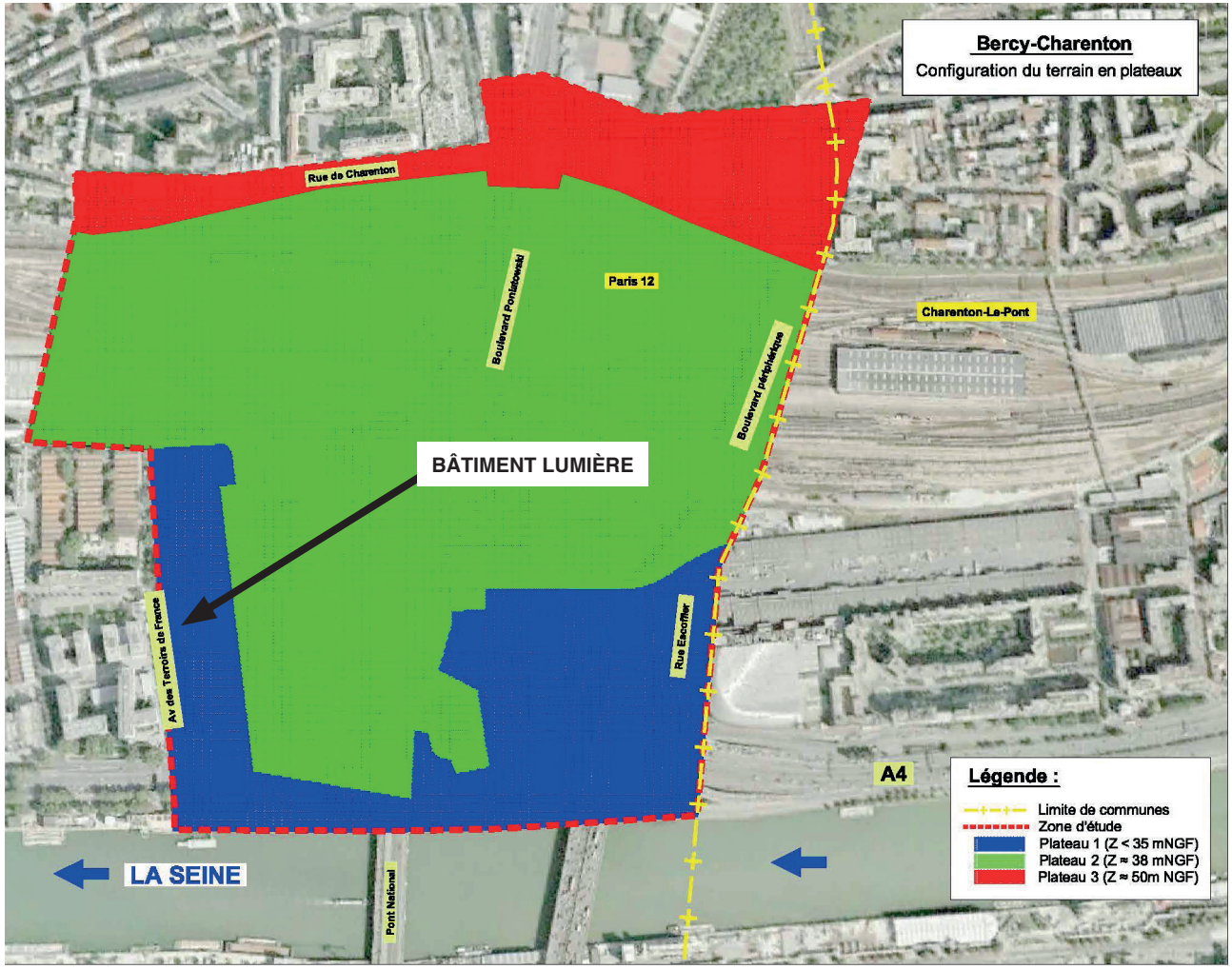
Selon la carte des aleas ci-contre, le site est localisé dans une zone de submersion de 1 à 2m, en cas de crue type 1910.



LOCALISATION DU SITE DANS LA CARTE D'ALEA LIÉ À UNE CRUE TYPE 1910 (extrait)
Source: PPRI de Paris 12ème. Carte d'alea Annexé à l'arrêté du 19 avril 2007

Une analyse hydraulique a été réalisée par Ingerop en février 2011, dans le cadre de la ZAC Bercy-Charenton. les éléments ci-dessous en proviennent..

Topographie: la ZAC présente une topographie particulière “en plateaux” avec des ruptures de pente brutales organisant le terrain en différents niveaux bien distincts, remontant en s’écartant de la Seine. L’immeuble Lumière est localisé sur le plateau 1 (Z< 35 NGF), qui constitue la zone d’expansion des crues de la Seine



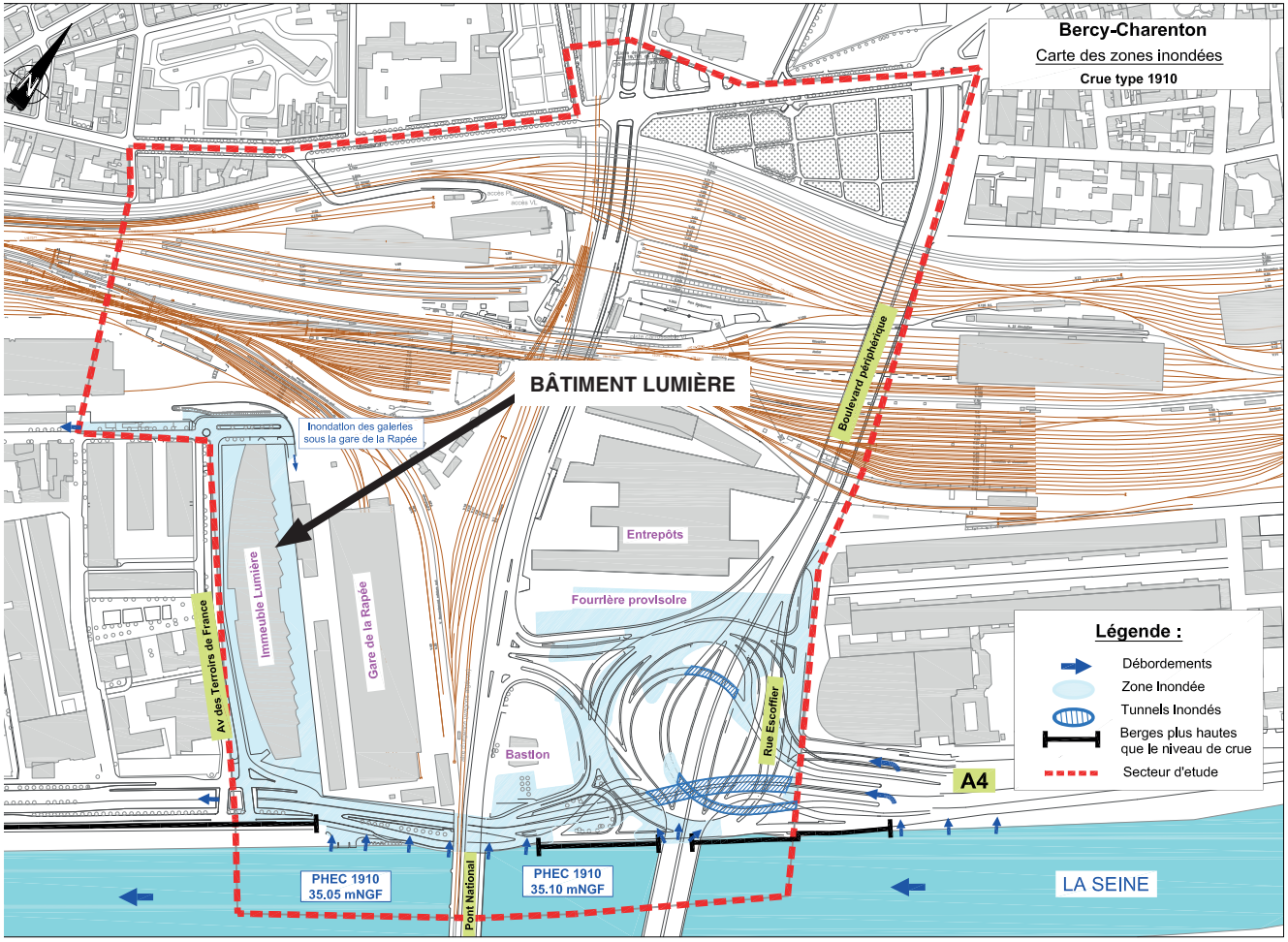
PLATEAUX TOPOGRAPHIQUES DE LA ZAC

Source: Inondabilité du secteur Bercy-Charenton. Analyse hydraulique . Ingerop. 16 février 2011

Ci-contre une carte illustrant les zones inondables d'après les niveaux de crue fixés par le PPRi (crue de 1910) et l'analyse des plans topographiques et présentant les points de débordements, Elle permet de situer rapidement les points de débordement, de visualiser les dynamiques de crue et d'identifier la zone inondable.

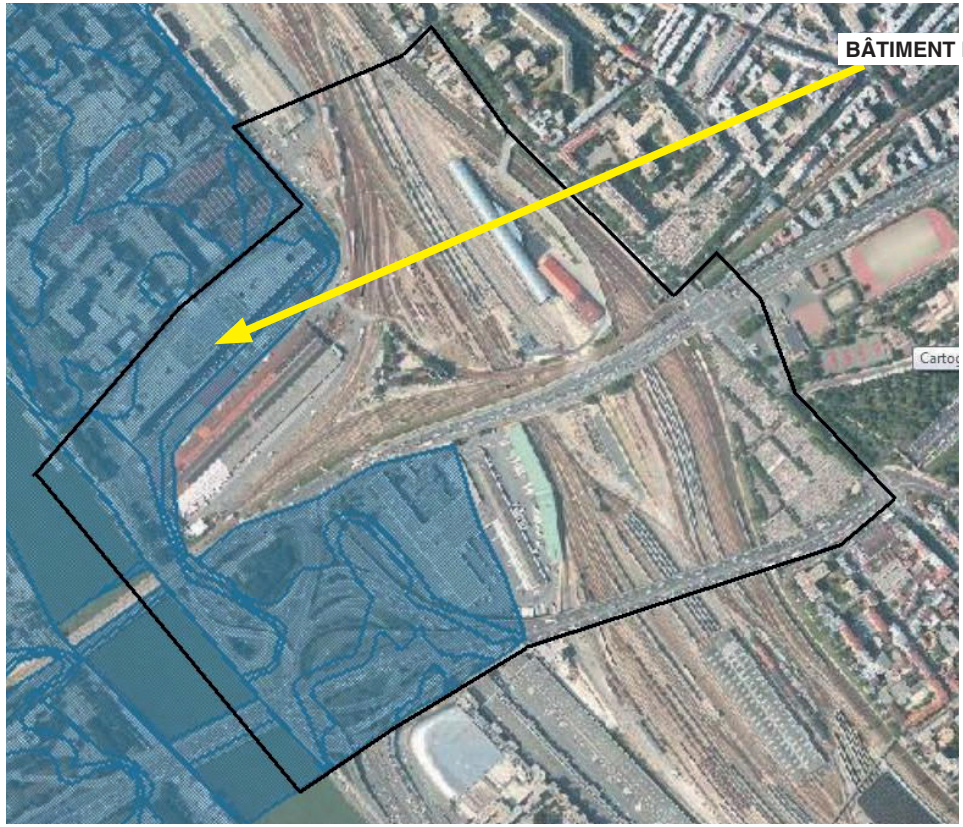
Le bâtiment Lumière est intégralement en zone inondée.

Ingerop conclut: "Dans la plupart des zones inondées, la hauteur d'eau atteint environ deux à trois mètres."

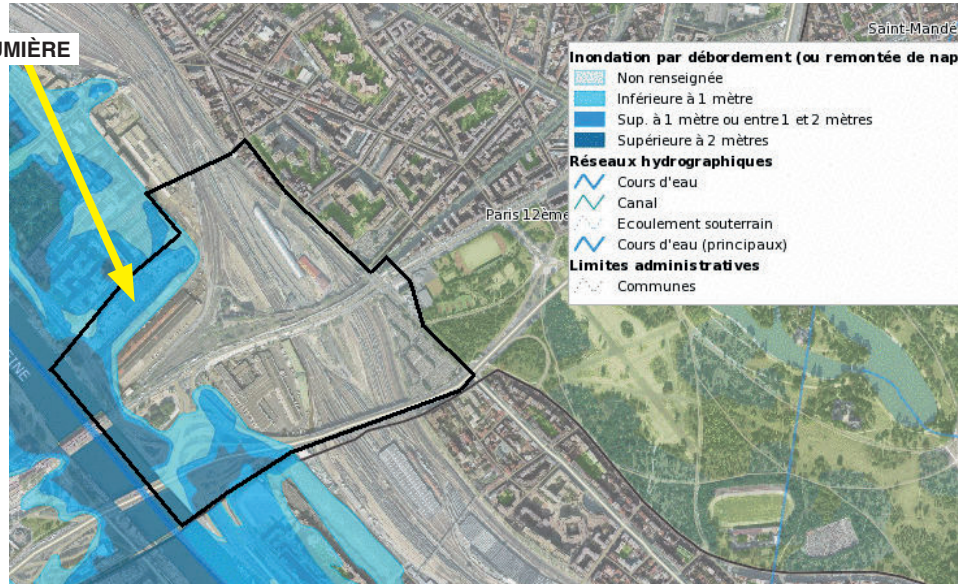


CARTE DES ZONES INONDÉES

Source: Inondabilité du secteur Bercy-Charenton. Analyse hydraulique . Ingerop. 16 février 2011

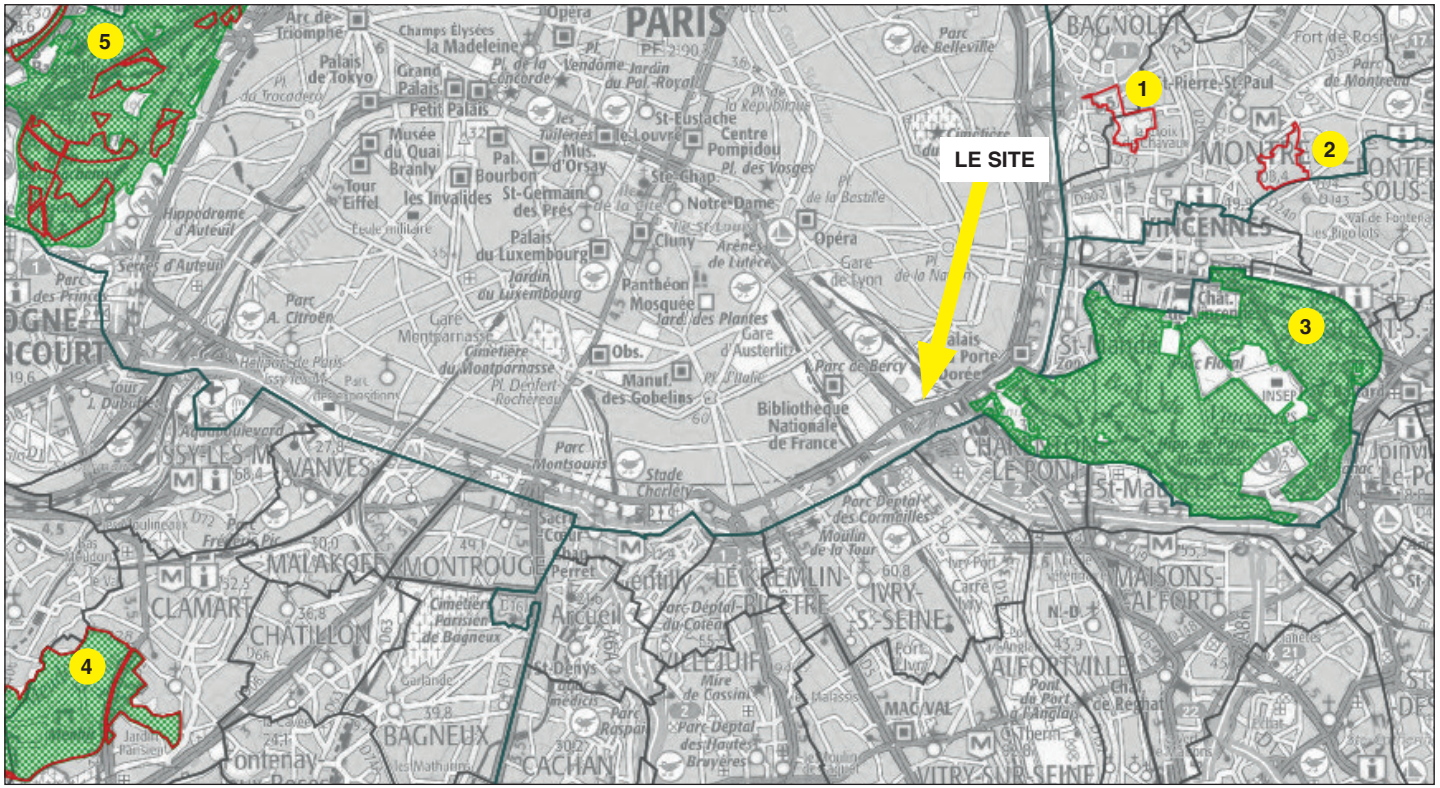


ZONE INONDABLE SUR LA ZAC POUR LA CRUE DE 1910. CARTORISQUE (extrait)
Source: Inondabilité du secteur Bercy-Charenton. Analyse hydraulique . Ingerop. 16 février 2011



ZONE INONDABLE SUR LA ZAC POUR LA CRUE DE 1910. PPRI DE PARIS (extrait)

Source: Inondabilité du secteur Bercy-Charenton. Analyse hydraulique . Ingerop. 16 février 2011



ZNIEFF de type 1

ZNIEFF - type 1

ZNIEFF de type 2

ZNIEFF - type 2

Au plus près, le site du projet est à environ 800m d'une ZNIEFF de type II: le bois de Vincennes (n°3) et à 4 Km d'une ZNIEFF de type I: Boisements et prairies du parc des Guilands (n°1).

INVENTAIRES ET BIODIVERSITÉ. ZNIEFF

Source: base de donnée DRIEAT Ile de France GEO IDE. Carte Nature, Paysage, biodiversité et géodiversité consultée en mars 2024

n°	*type*	*nom*	*distance au site*
1	type I	Boisements et prairies du parc des Guilands	4,1 Km
2	type I	Parc des Beaumonts	5,2 Km
3	type II	Bois de Vincennes	0,8 Km
4	type I	forêt de Meudon et bois de Clamart. boisements et prairies de l'observatoire de Meudon	10,0 Km
4	type II	forêt domaniale de Meudon et de Fausse Repose et parc de St Cloud	10,0 Km
5	type I	Berges de Seine au Bois de Boulogne / . vieux boisements et îlots de vieillissement du bois de Boulogne	10,2 Km
5	type II	Bois de Boulogne	10,2 Km

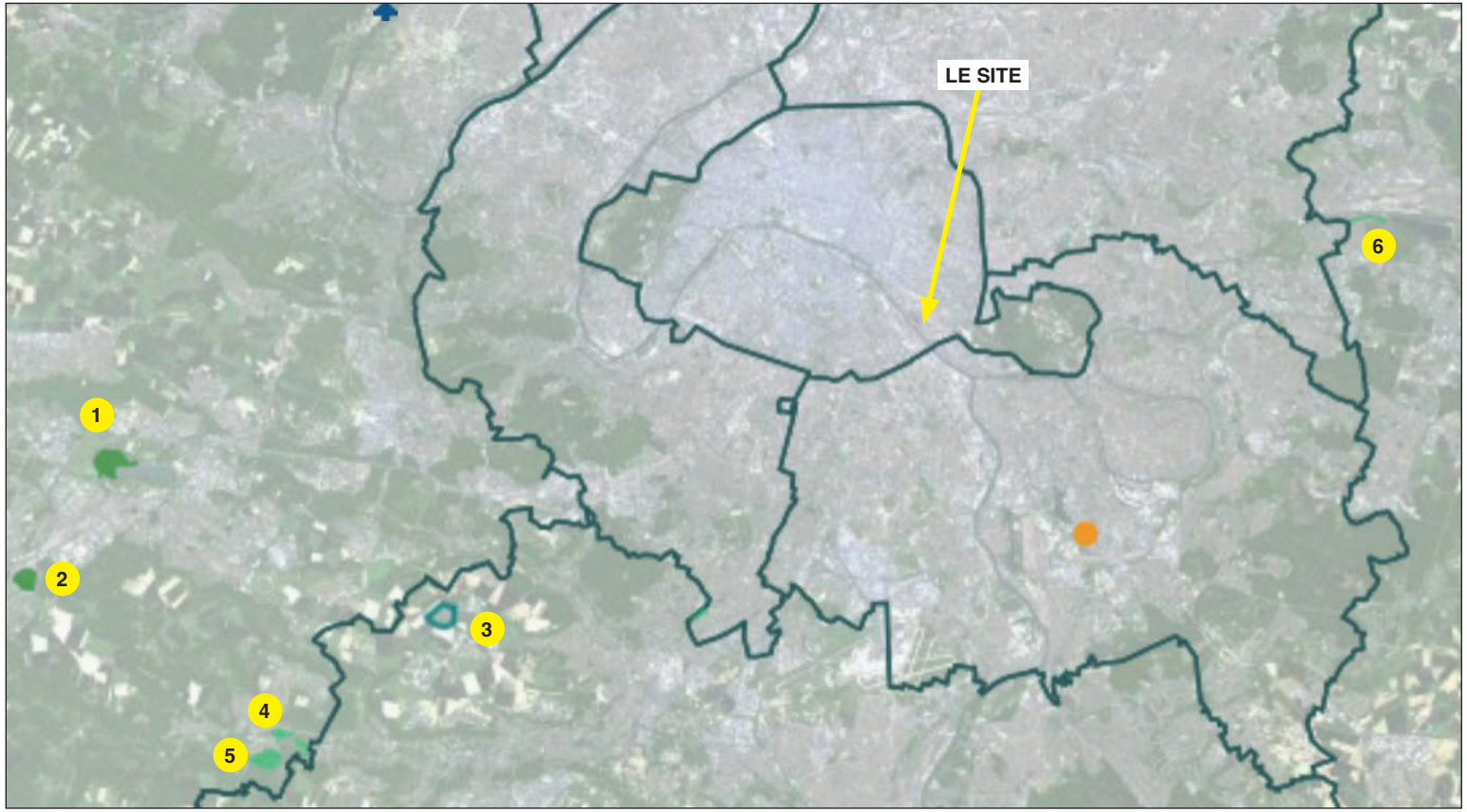


ARRÊTÉS PRÉFECTORAUX DE PROTECTION DE BIOTOPE
Source: base de donnée DRIEAT Ile de France GEO IDE. Carte Nature, Paysage, biodiversité et géodiversité consultée en mars 2024

APPB. Arrêtés préfectoraux de protection du biotope

Au plus près, le site du projet est à environ 7 Km d'un secteur protégé par un arrêté préfectoral de protection de biotope: le Glacis du fort de Noisy le Sec.

n°	*nom du site APPB*	*date de l'arrêté*	*commune*	*distance au site*
1	Mares du plateau d'Avron	29 july 1989	Neuilly Plaisance	9,9 Km
2	Alisiers du plateau d'Avron	11 july 1988	Neuilly Plaisance	10,4 Km
3	Glacis du fort de Noisy le sec	11 May 1995	Romainville	7,1 Km
4	Iles de la Marne de la boucle de St Maur	25 March 2008	St Maur des Fossés	9,2 Km
5	Bois St Martin	29 September 2006	Noisy le Grand	13,3 Km
6	Etang de Beauboirg	13 January 1992	Croissy-Beaubourg	18,8 Km



Au plus près, le site du projet est à environ
.27 Km d'une Réserve Naturelle Nationale: Etangs et Rigoles d'Yvelines;
. 3 Km d'une Réserve Naturelle Conventionnelle: Etang Vieux de Saclay
. 15 Km d'une Réserve Naturelle Régionale: Les îles de Chelles

RÉSERVES
Source: base de donnée DRIEAT Ile de France GEO IDE. Carte Nature, Paysage, biodiversité et géodiversité consultée en mars 2024

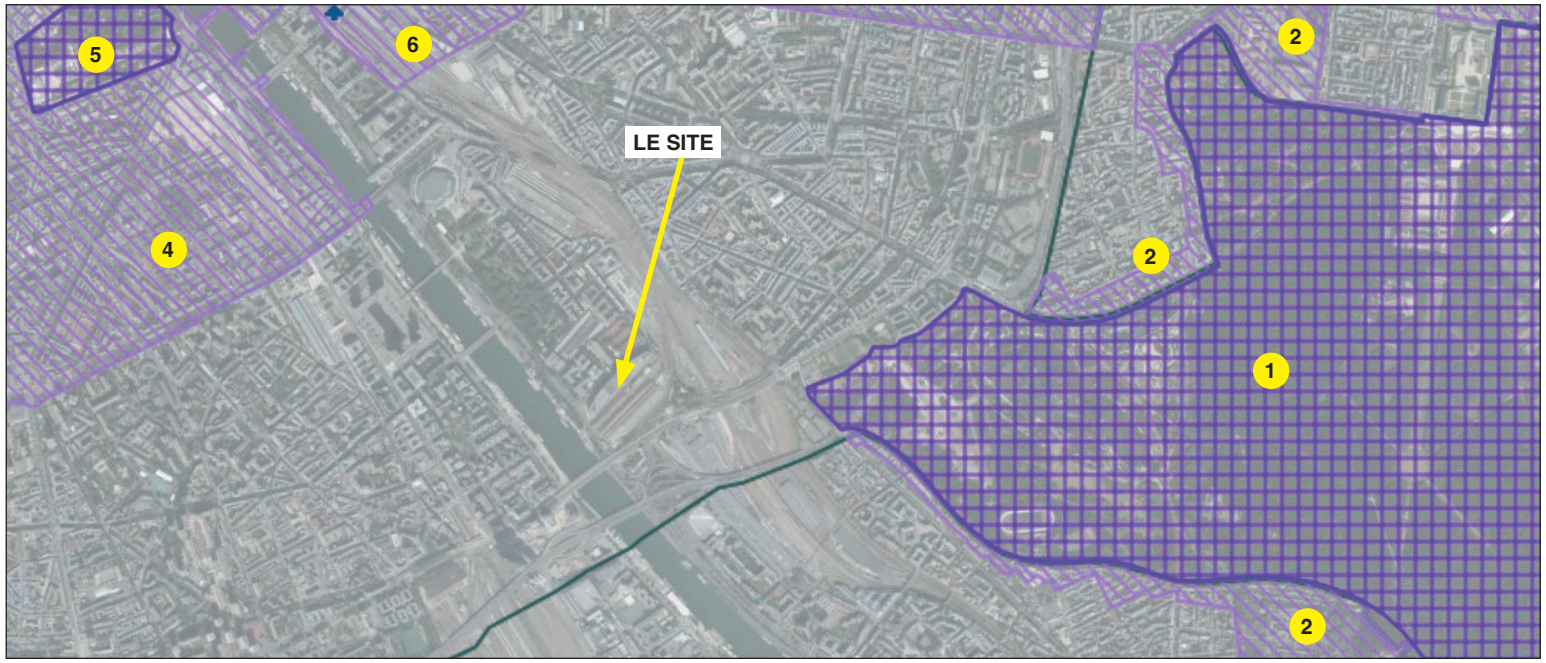
n°	*type*	*nom*	*distance au site*
1 et 2	RNN	réserve naturelle nationale des étangs et rigoles d'Yvelines	27,7 Km
3	RNC	réserve naturelle conventionnelle de l'étang vieux de Saclay	19,0 Km
4 et 5	RNR	RNR Val et coteaux de St Rémy les Chevreuse	25,8 Km
6	RNR	RNR Les îles de Chelles	15,1 Km

Légende

RNN - Réserves naturelles nationales

RNR - Réserves naturelles régionales

Réserve naturelle conventionelle de l'Etang vieux de Sac



Légende

Sites classés

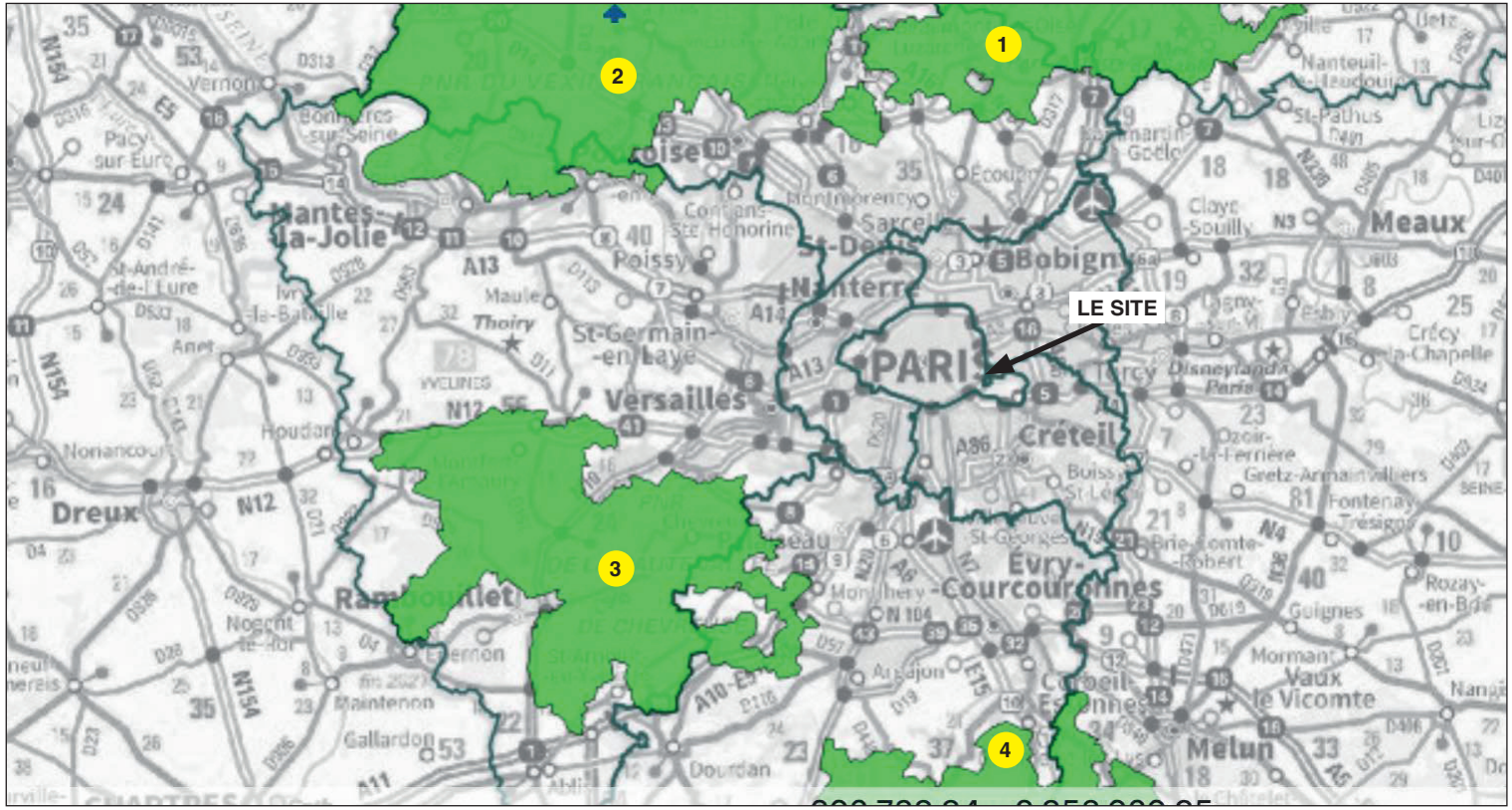
Sites inscrits

SITES CLASSÉS / SITES INSCRITS

Source: base de donnée DRIEAT Ile de France GEO IDE. Carte Nature, Paysage, biodiversité et géodiversité consultée en mars 2024

n°	*type*	*nom*	*distance au site*
1	Site Classé	Bois de Vincennes	0,8 Km
2	Site Inscrit	Franges du Bois de Vincennes	0,8 Km
3	Site Inscrit	Ensemble urbain à Paris	1,2 Km
4	Site Classé	Jardin des Plantes	2,2 Km

Au plus près, le site du projet est à environ
. 800m du site classé que constitue le Bois de Vincennes;
. 800m du site inscrit que constituent les franges du Bois de Vincennes.

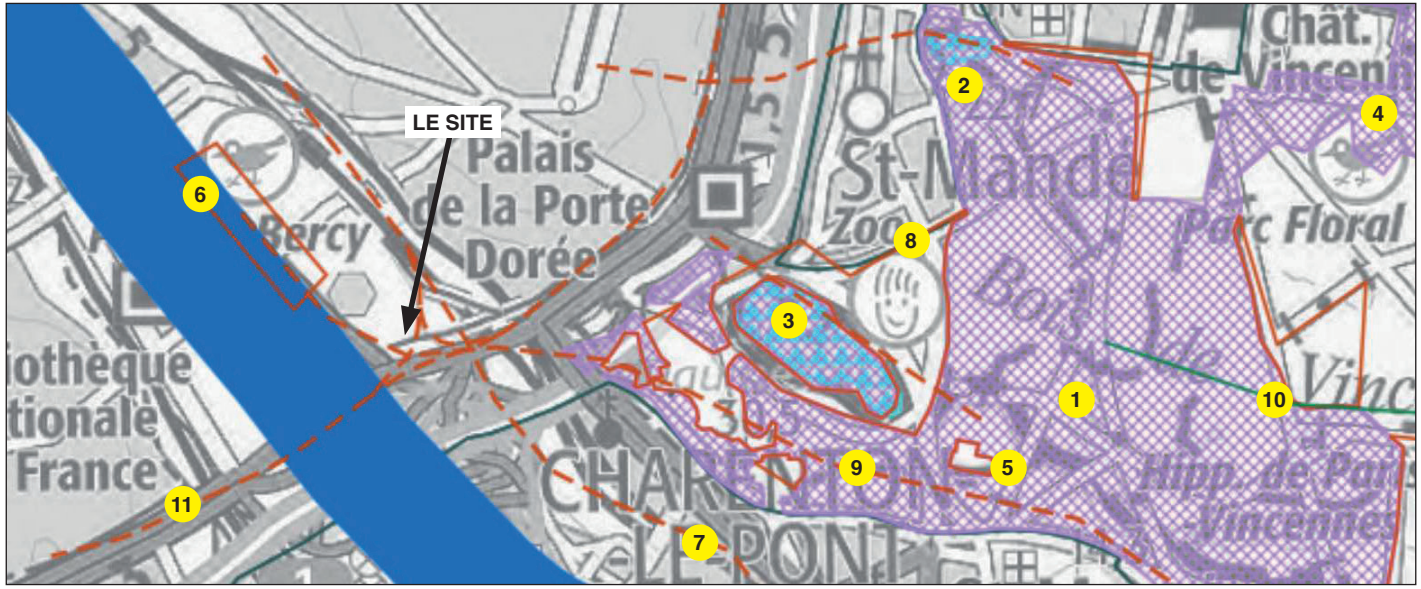


PARC NATUREL RÉGIONAL

Source: base de donnée DRIEAT Ile de France GEO IDE. Carte Nature, Paysage, biodiversité et géodiversité consultée en mars 2024

Au plus près, le site du projet est à environ 23 Km d'un Parc Naturel Régional: Oise-Pays de France.

n°	*type*	*nom*	*date de création*	*surface*	*distance au projet*
1	PNR	Oise- Pays de France	1/13/2004	67.014 ha	23 Km
2	PNR	Vexin français	5/9/1995	71.056 ha	33 Km
3	PNR	Haute Vallée de Chevreuse	12/11/1985	6.462 ha	24 Km
4	PNR	Gâtinais français	5/4/1999	75.567 ha	30 Km



Corridors arborés

Secteurs d'intérêt en milieux urbains

Liaisons d'intérêt en milieux urbains

Réservoirs de biodiversité

Milieux humides

Corridors alluviaux multitrames

n°	type	nom
1	réservoir de biodiversité	bois de Vincennes
2	milieux humides	lac de St Mandé
3	milieux humides	lac Daumesnil
4	réservoir de biodiversité	parc du château de Vincennes
5	secteur d'intérêt en milieu urbain (autres secteurs reconnus pour leur intérêt écologique)	bâts. de la direction des espaces verts et de l'envirt. Mairie de Paris
6	secteur d'intérêt en milieu urbain (autres secteurs reconnus pour leur intérêt écologique)	parc de Bercy
7	liaison d'intérêt en milieu urbain	-
8	secteur d'intérêt en milieu urbain (autres secteurs reconnus pour leur intérêt écologique)	
9	secteur d'intérêt en milieu urbain (autres secteurs reconnus pour leur intérêt écologique)	
10	corridor arboré (principaux corridors de la sous-trame arborée à restaurer)	
11	secteur d'intérêt en milieu urbain (autres secteurs reconnus pour leur intérêt écologique)	
12	secteur d'intérêt en milieu urbain (autres secteurs reconnus pour leur intérêt écologique)	
13	corridors alluviaux multitrames en contexte urbain	la Seine

CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES DU SCHÉMA RÉGIONAL DE COHÉRENCE ÉCOLOGIQUE (SRCE)

Source: base de donnée DRIEAT Ile de France GEO IDE. Carte Nature, Paysage, biodiversité et géodiversité consultée en mars 2024

L'étude d'impact de la ZAC Bercy (4 juillet 2018. cf p. 29) mentionne pour un périmètre d'étude élargi, qui englobe celui du projet des TAR sur l'immeuble Lumère:

"*Le site de Bercy Charenton se localise au coeur de la Ville de Paris, milieu urbain où les espaces de nature restent assez réduits. Néanmoins, la Ville comprend plusieurs parcs urbains dont certains de grande importance, notamment les bois de Boulogne (846 ha) et de Vincennes (995 ha).*

On précisera que les parcs urbains constituent un réseau de qualité, malgré une répartition irrégulière. Le patrimoine naturel de Paris (espaces verts, fluviaux, ferroviaires) recèle une flore sauvage riche et variée qui a su s'adapter à l'urbanisation et à la présence de l'homme.

Le Schéma Régional de Continuités Ecologiques (SRCE) est le volet régional de la Trame Verte et Bleue dont l'élaboration est fixée par les lois Grenelle I et II. Ce document cadre régional est co-élaboré par l'Etat et le Conseil Régional, en association avec un Comité Régional "Trames verte et bleue" et l'ensemble des partenaires régionaux concernés par le schéma et sa mise en oeuvre.

Approuvé par délibération du Conseil Régional du 26 septembre 2013, le Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE) d'Ile-de-France a été adopté par arrêté préfectoral du 21 octobre 2013

La carte des enjeux de la trame verte et bleue du projet de SRCE fait apparaitre notamment sur la zone d'étude :

- Un réservoir de biodiversité important à l'échelle de Paris et sa proche couronne : le bois de Vincennes, notamment du fait de la présence de zones humides ;

- Une mise en évidence du parc de Bercy, considéré comme un secteur reconnu pour son intérêt écologique ;

- 3 liaisons reconnues pour leur intérêt écologique :

. Une liaison portant sur le fuseau ferroviaire depuis la gare de Lyon jusqu'à la confluence de la Seine et de la Marne ;

. Une liaison portant sur l'axe de l'ancienne petite ceinture ferroviaire parisienne ;

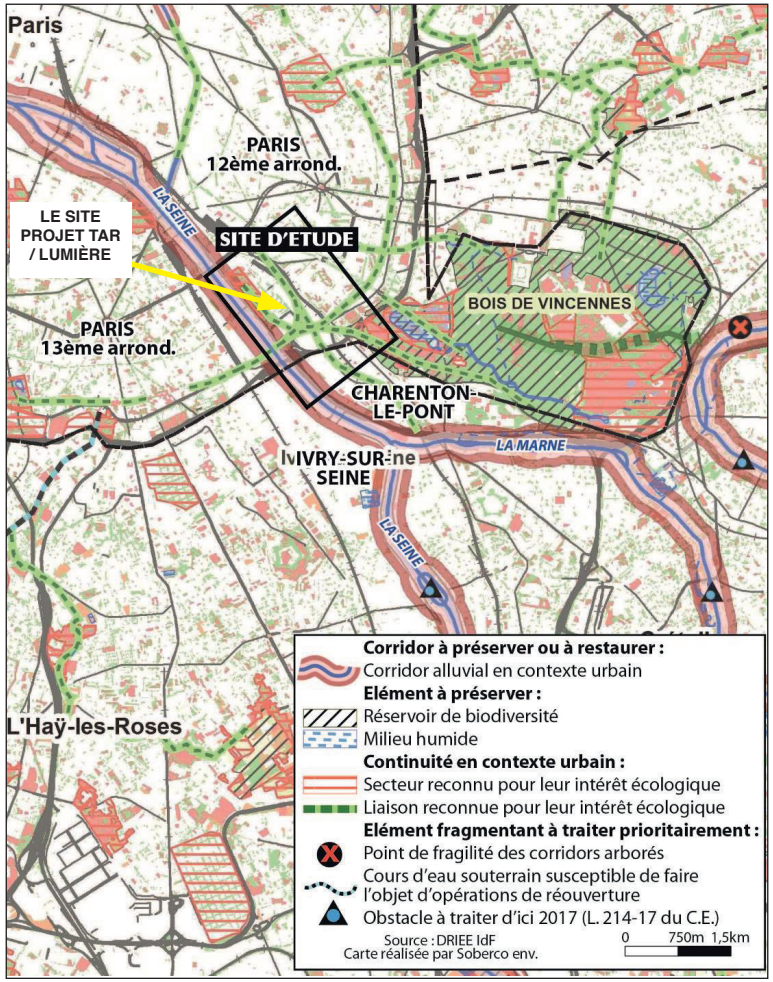
. Une liaison prenant place au sein du site d'étude entre le Parc de Bercy et la Bois de Vincennes.

On notera à ce titre que le site d'étude, s'il ne présente aucun secteur reconnu comme réservoir de biodiversité ou d'intérêt écologique, correspond au croisement des 3 liaisons d'intérêt identifiées dans les enjeux, notamment au niveau du secteur de la Rapée.

En outre, la Seine constitue un corridor alluvial multitrame d'importance majeure en milieu urbain, et constitue donc un corridor d'importance nationale.

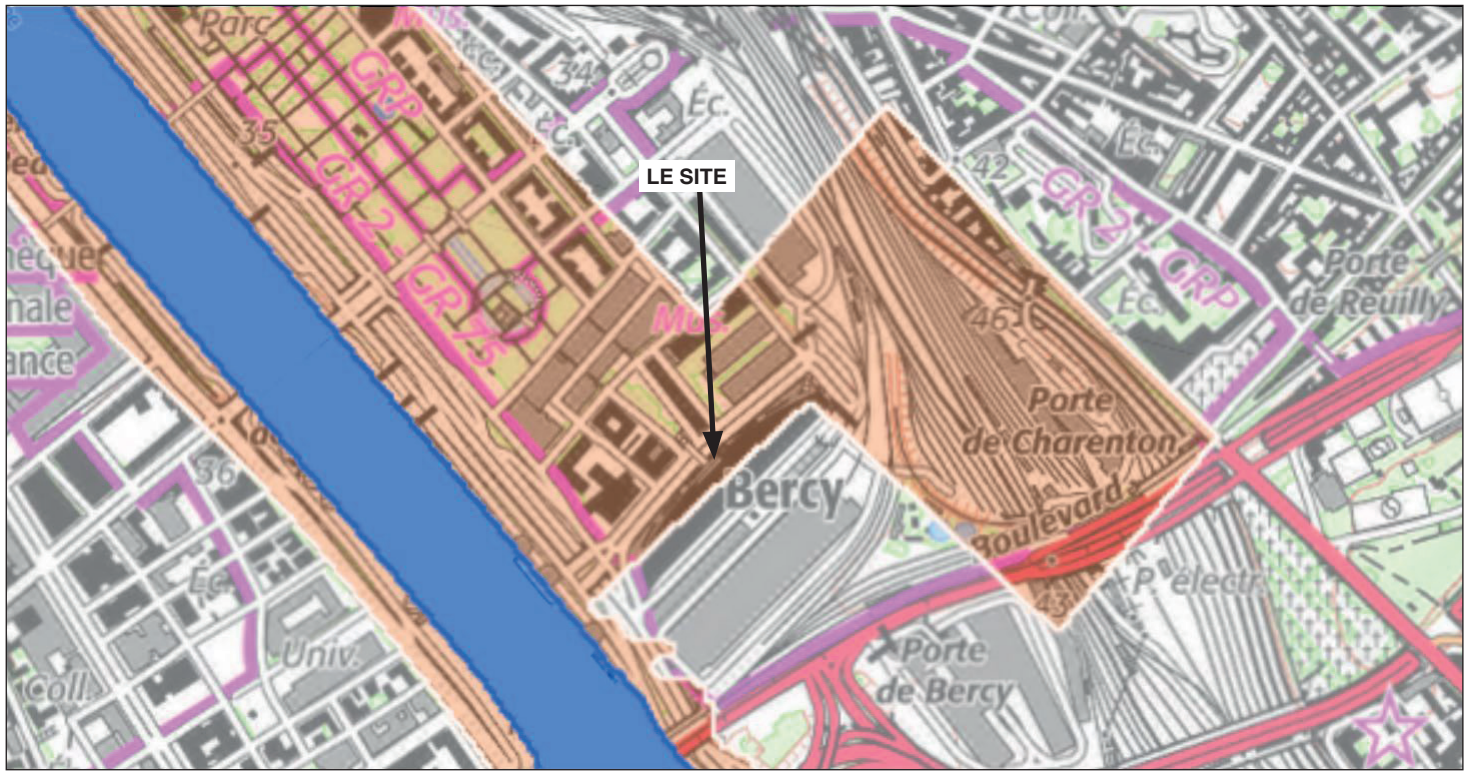
Enfin, le SRCE présente une grande partie des parcs et jardins disséminés sur le territoire comme des secteurs à enjeux, car reconnus pour leur intérêt écologique en termes de continuités en contexte urbain.

En matière d'objectifs, le site d'étude n'est concerné, au titre du SRCE, que par la Seine qui constitue l'un des principaux corridors régionaux à préserver ou à restaurer."



TRAME VERTE ET BLEU DE PARIS ET DE LA PETITE COURONNE

Source: Etude d'impact de la ZAC Bercy. Dossier de création de ZAC. Version approuvée par le Conseil de Paris. 4 juillet 2018

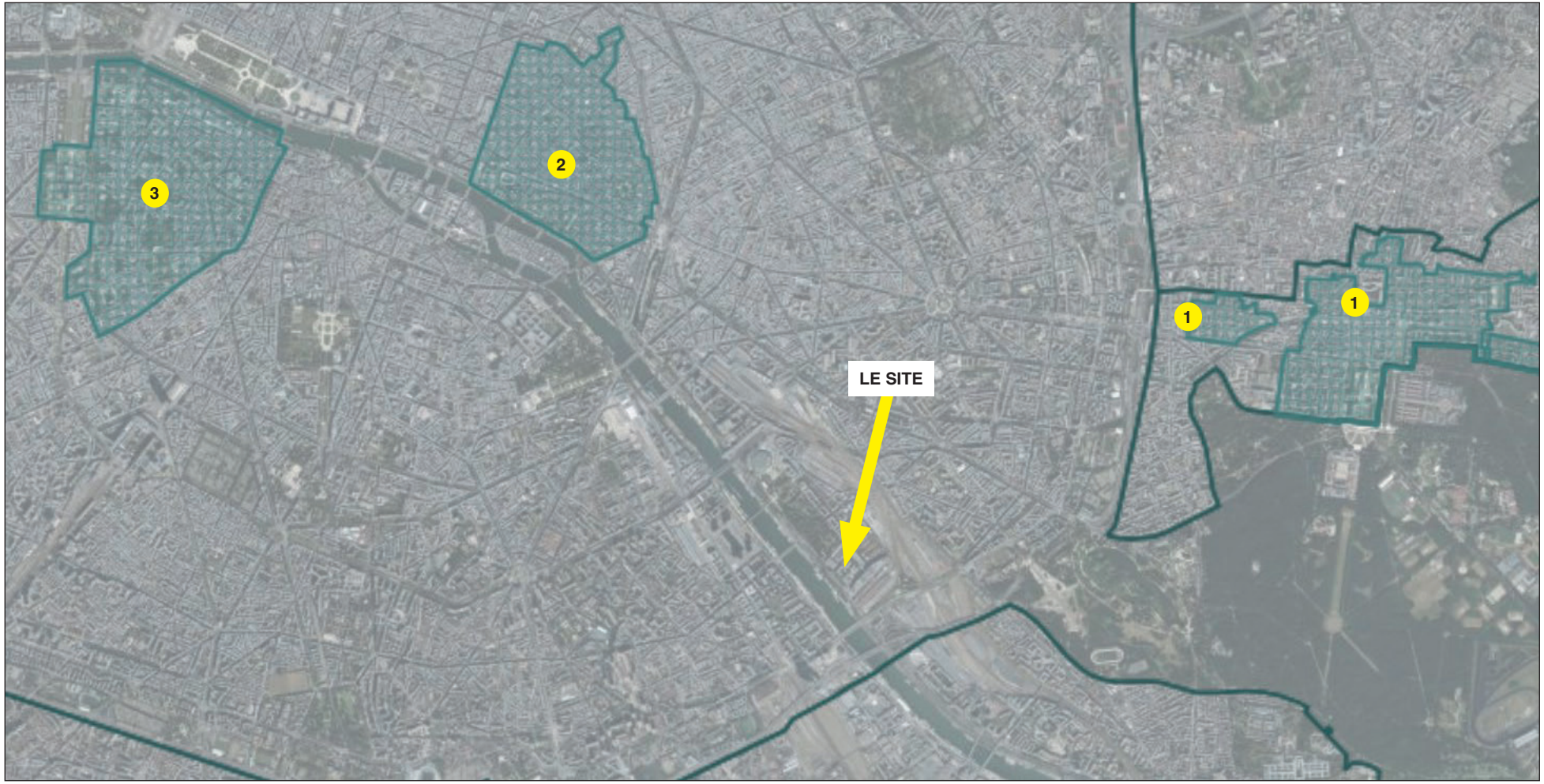


En 2021 la DRIEAT a publié la nouvelle cartographie des enveloppes d'alerte des zones humides d'Île de-France, qui comporte 4 classes, précisées par la légende de la carte ci-dessous:
Classe A. ZH avérée
Classe B: ZH probables
Classe C: manque d'information
Classe D: zones non humides. plan d'eau et réseau hydrographique.

Selon cette cartographie, le bâtiment Lumière est intégralement localisé en classe B: zone humide probable.

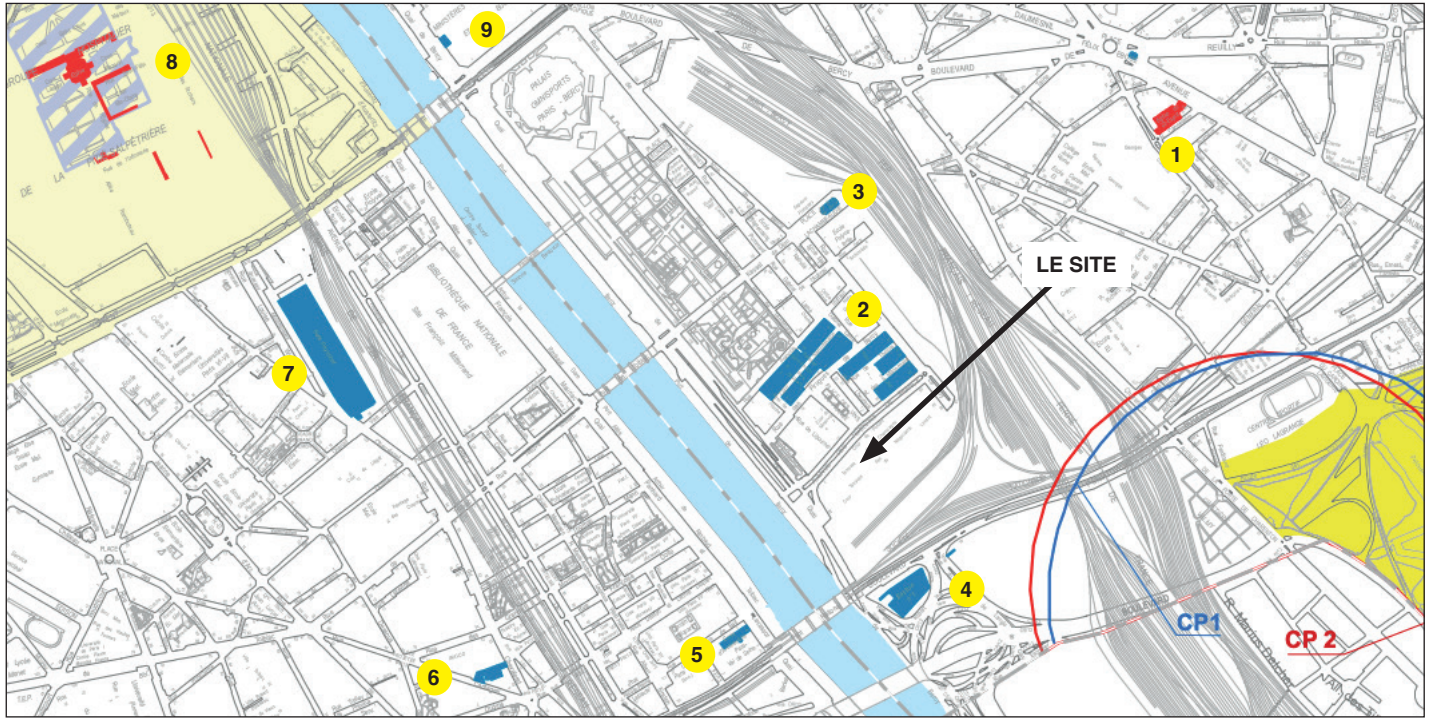
- classe A: zones humides avérées dont les limites peuvent être à préciser
- classe B: zones humides probables dont le caractère humide reste à vérifier et les limites à préciser
- classe D: non humide: plan d'eau et réseau hydrographique
- manque d'information ou faible probabilité de présence de zone humide

ENVELOPPES D'ALERTE DES ZONES HUMIDES AVÉRÉES ET POTENTIELLES
Source: base de donnée DRIEAT Ile de France . Carte enveloppes d'alerte des ZH. consultée en octobre 2024

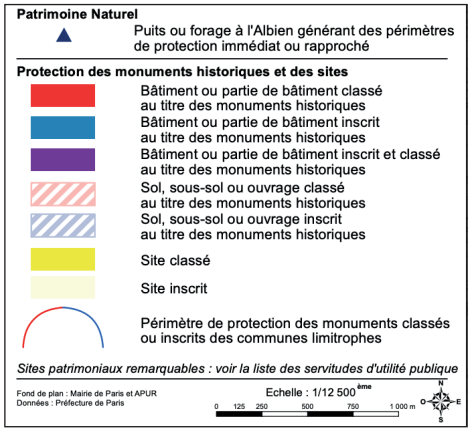


SITES PATRIMONIAUX REMARQUABLES (SPR)
Source: base de donnée DRIEAT Ile de France GEO IDE
Carte Nature, Paysage, biodiversité et géodiversité consultée en mars 2024

n°	*nom*	*distance au plus près du site*
1	SPR de Vincennes	2,9 Km
2	SPR du Marais	2,8 Km
3	SPR du 7ème arrondissement de Paris	5,0 Km



Au plus près, l'immeuble Lumière est à 160m des chais de Bercy, monuments historiques inscrits.
Au plus près, il est à 1 Km d'un monument classé, l'église du St Esprit.
Le site n'est pas concerné par le périmètre de protection des monuments historiques de Charenton.

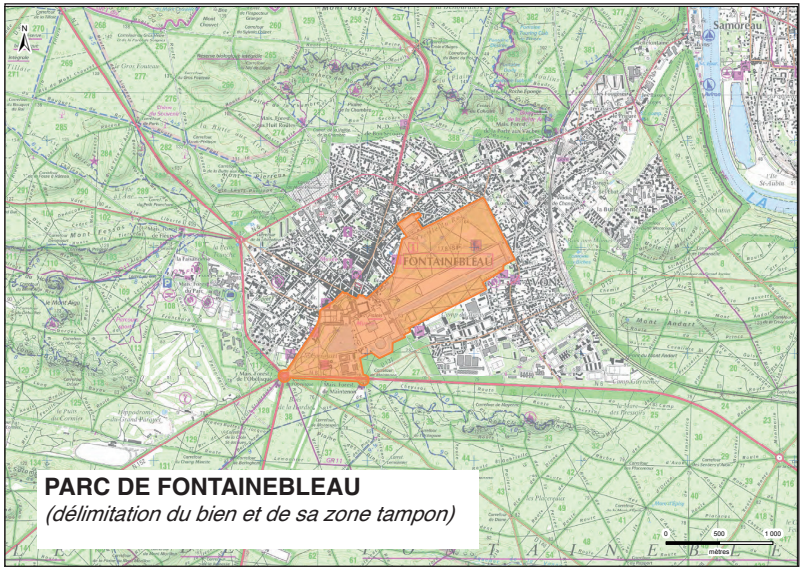


PATRIMOINE HISTORIQUE. BÂTIMENTS CLASSÉS / INSCRITS
Source: PLU de Paris. Servitudes d'utilité publiques. Conservation du patrimoine

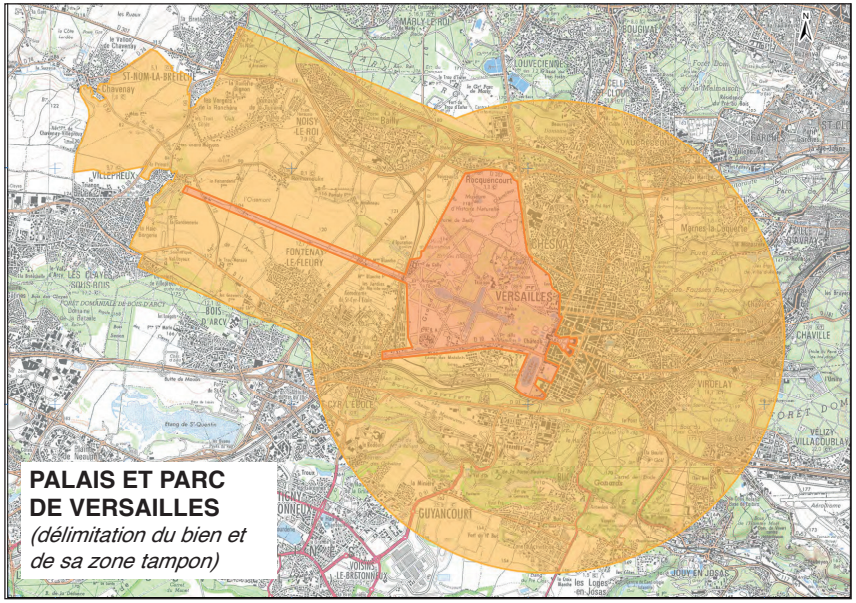
n°	nom	adresse	arrondisst.	type	date	distance
1	église du St Esprit	185 av Daumesnil	12ème	classé MH en totalité	2016	1,03 Km
2	chais et magasins de Bercy en totalité	Bercy	12ème	inscrit MH en totalité	1986	0,16 Km
3	Eglise Notre Dame de Bercy	pl. Lachambaudie	12ème	inscrit MH	1982	0,57 Km
4	Bastion n°1 des anciennes fortifications	bd Poniatowski	12ème	inscrit MH	1970	0,25 Km
5	Ancienne usine de la société urbaine d'air comprimé	3 quai Panhard-Levassor	13ème	inscrit MH	1994	0,44 Km
6	Cité Refuge de l'Armée du Salut : façades,couverture...	12, rue Cantagrel	13ème	inscrit MH	1975	0,99 Km
7	Halle Freyssinet : anciennes messageries de la gare d'Austerlitz	99, rue du Chevaleret	13ème	inscrit MH	2012	1,10 Km
8	Hôpital de la Salpêtrière. Orgue, chapelle, bâtiments ...	47 boulevard de l'Hôpital	13ème	classé MH	1927	1,94 Km
9	Pavillons de l'ancienne Douane et de la Barrière d'eau ; façades et toitures	10, quai de la Rapée	12ème	inscrit MH	1962	1,35 Km

❒ Localisation par rapport au patrimoine Unesco

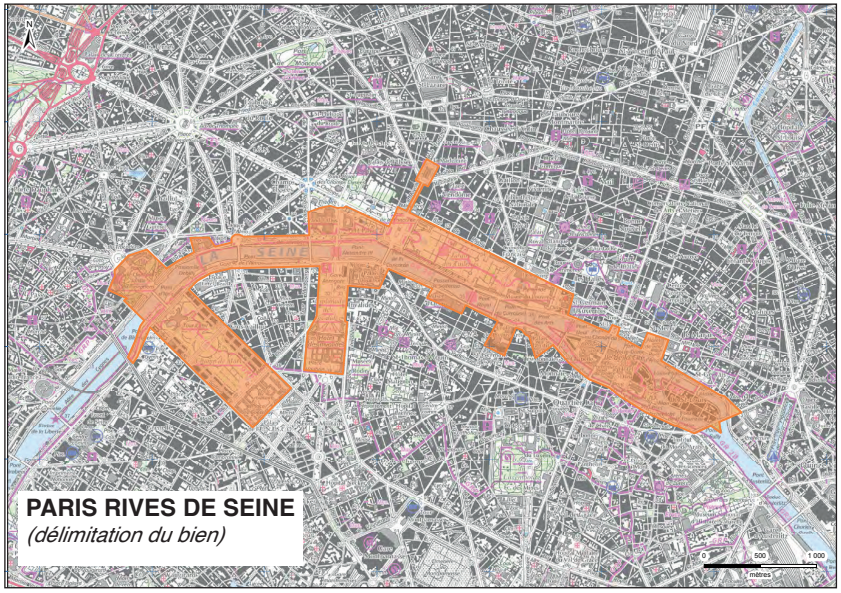
Quatre sites en Ile de France sont inscrits au patrimoine mondial de l'Unesco parmi lesquel les trois plus proches du site sont:
. Les berges de la Seine à Paris (date d'inscription : 1991)
. Le château de Versailles et son parc (Palais et parc de Versailles: délimitation du bien lors de son inscription sur la liste en 1979 et de sa zone tampon approuvée en 2007)
. Le palais et le parc de Fontainebleau (date d'inscription : 1981)
Au plus près, le site est localisé à 5,7 Km du périmètre d'un site Unesco: Les berges de Seine à Paris.



PARC DE FONTAINEBLEAU
(délimitation du bien et de sa zone tampon)



PALAIS ET PARC DE VERSAILLES
(délimitation du bien et de sa zone tampon)

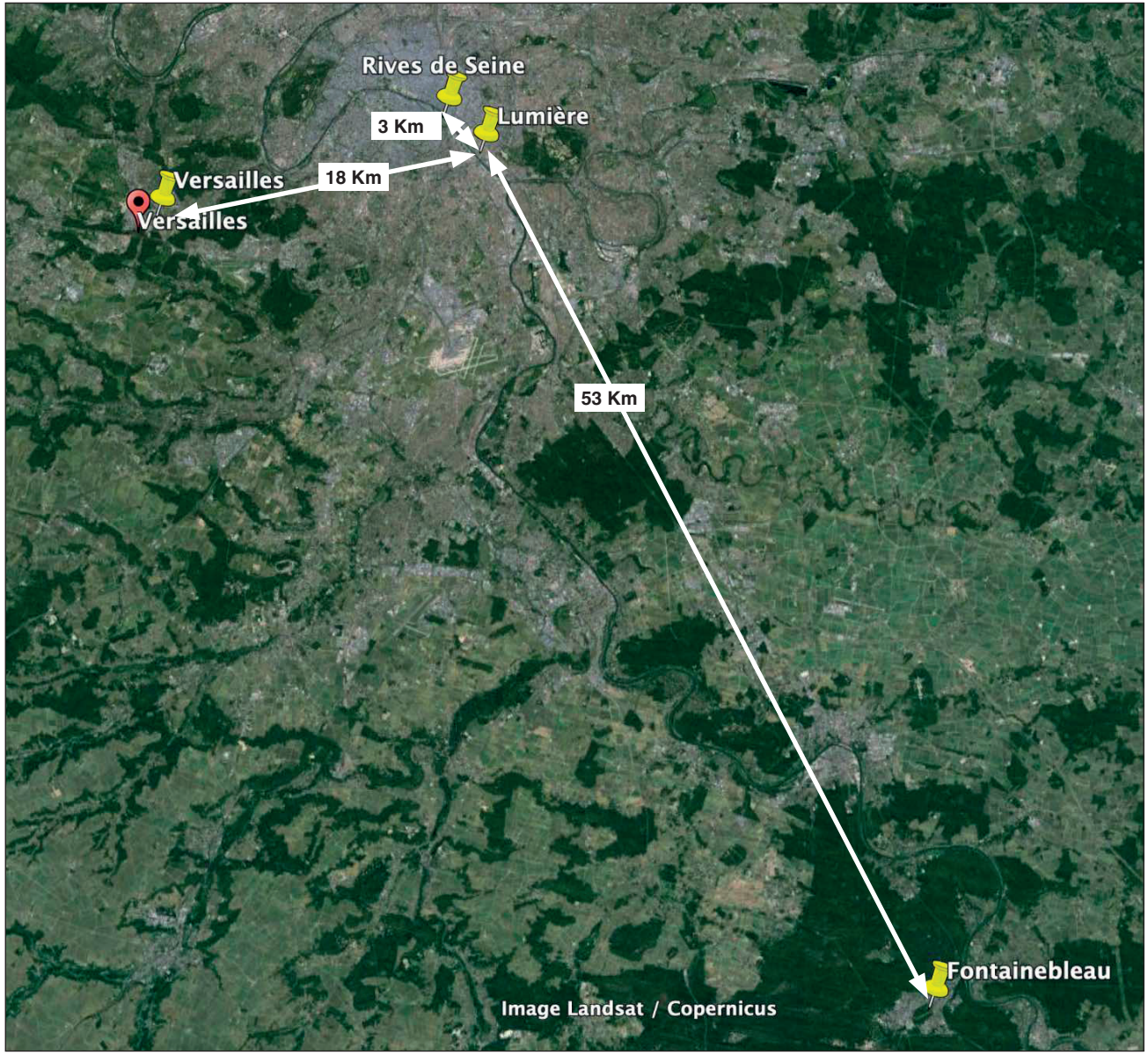


PARIS RIVES DE SEINE
(délimitation du bien)

Source: Atlas des biens français inscrits sur la liste du patrimoine mondial. Ministère de la Culture. octobre 2023

PJ n°9

LOCALISATION DU SITE
PAR RAPPORT À TROIS SITES UNESCO



Conclusion
Compte tenu de la nature du projet situé en haut d'un immeuble existant, dont l'altimétrie ne variera pas par rapport à l'état actuel, il n'y a pas d'impact sensible sur le patrimoine culturel et historique

Etude Thermo Aéraulique

LUMIERE – Paris

Confidentiel – Ne pas reproduire
Ne pas diffuser

N°Affaire	23.062	Phase	Etude
Référence	LUMIERE – Paris		
Titre	Mémoire technique		

Ind.	Date	Diffusion	Élaboré par	Validé
0	22/12/2023	Première diffusion	MD	TD/VD
1	06/02/2023	Seconde diffusion	MD	TD/VD

Ce document est la propriété de EOLIOS. Il ne pourra être divulgué ni copié sans son autorisation.

Contact : thibaut.degorre@eolios.fr
42 rue de l'Amiral Hamelin
75116 Paris

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

Table des matières :

1. Description générale de l'étude CFD 3
1.1. Contexte général 3
1.2. Qu'est-ce qu'une modélisation CFD ? 3
1.3. Objectifs de l'étude 3
2. Modélisation Numérique CFD 4
2.1. Généralités 4
2.2. Logiciels utilisés 4
2.3. Principe des conditions limites 4
2.4. Principe du maillage 5
2.5. Simulation numérique 6
2.6. Méthodologie de calcul 6
2.7. Notion de convergence en CFD 6
3. Etude du bâtiment LUMIERE 8
3.1. Contexte de l'étude 8
3.2. Systèmes modélisés : TAR 9
3.3. Hypothèses 10
4. Résultats de l'étude thermo-aéraulique 11
4.1. Contexte 11
4.2. Version de base 11
4.3. Résultats de l'étude : cas initial – vent d'origine Sud-Ouest de vitesse 4 m/s 12
4.3.1 Plans de vitesses d'air 12
4.3.2 Plans de températures 13
4.3.3 Plans d'humidité 17
4.4. Conclusion de l'étude 21
5. Résultat de l'étude : Ventelles périphériques – vent de Sud-Ouest . 24
5.1. Modifications apportées au modèle 24
5.2. Plans de vitesses d'air 24
5.3. Plans de températures 25
5.4. Plans d'humidité 29
5.5. Conclusion de l'étude 33
6. Résultat de l'étude : capotage partiel – vent de Sud-Ouest 34
6.1. Modifications apportées au modèle 34
6.2. Plans de vitesses d'air 34
6.3. Plans de températures 35
6.4. Plans d'humidité 40

6.5. Conclusion de l'étude 43

7. Résultat de l'étude : capotage total – vent de Sud-Ouest 44

7.1. Modifications apportées au modèle 44

7.2. Plans de vitesses d'air 44

7.3. Plans de températures 45

7.4. Plans d'humidité 49

7.5. Conclusion de l'étude 52

8. Résultat de l'étude : capotage total – vent de Nord-Est 53

8.1. Modifications apportées au modèle 53

8.2. Plans de vitesses d'air 53

8.3. Plans de températures 54

8.4. Plans d'humidité 58

8.5. Conclusion de l'étude 61

9. Conclusion globale 62

9.1. Résumé des conclusions de chaque étude sur le bouclage 62

9.2. Tableaux récapitulatifs des températures et taux d'humidité de l'air de reprise 63

9.3. Conclusion sur le taux d'humidité relatif dans l'air 63

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

1. Description générale de l'étude CFD

1.1. Contexte général

EOLIOS propose d'apporter son expertise technique dans la compréhension et la modélisation des échanges thermiques et aérauliques d'un data center via la réalisation d'étude CFD.

Il s'agit pour cela de simuler par le calcul numérique le comportement thermo-aéraulique des différents phénomènes qui ont lieu dans les halls en relation avec les process informatiques et les systèmes de maîtrise climatique.

1.2. Qu'est-ce qu'une modélisation CFD ?

La mécanique des fluides numériques (MFN), plus souvent désignée par le terme anglais Computational Fluid Dynamics (CFD), consiste en l'ensemble des méthodes numériques permettant d'étudier un écoulement de fluide dans un environnement donné.

Un centre de données représente un environnement très complexe, où chaque serveur peut avoir une charge différente, et le flux d'air autour de lui peut changer radicalement en fonction uniquement de la répartition de la charge. Les performances thermiques du système de refroidissement dans un centre de données dépendent principalement du trajet de l'air. La CFD est un outil efficace pour fournir des informations détaillées sur les flux d'air en conception.

Un autre avantage de l'utilisation de la modélisation CFD est la possibilité d'analyser des scénarios critiques au-delà du fonctionnement standard des halls.

1.3. Objectifs de l'étude

L'enjeu d'un tel projet étant de valider par la réalisation de simulations CFD le dimensionnement, l'implantation des systèmes TAR présents en toiture du bâtiment LUMIERE.

Nous réaliserons les études avec une série de Logiciels Revit, Inventor Fusion, Enscape Studio, Sketchup Pro 2020, Rhino 7 et **Autodesk Simulation CFD 2021 pour la simulation CFD.**

2. Modélisation Numérique CFD

2.1. Généralités

La mécanique des fluides numériques (MFN), plus souvent désignée par le terme anglais Computational Fluid Dynamics (CFD), consiste en l'ensemble des méthodes numériques permettant d'étudier un écoulement de fluide dans un environnement donné.

Ces écoulements sont régis par des équations aux dérivées partielles. Ces équations étant insolvables analytiquement, la méthode de calcul par éléments finis permet de les résoudre numériquement : cela permet d'avoir une solution approchée d'un problème physique.

Une étude CFD, lorsqu'elle est appliquée aux bâtiments peut fournir au concepteur des informations sur les vitesses d'air probables, les pressions et les températures qui se produiront à l'intérieur et autour des espaces de construction.

Les conditions aux limites spécifiées peuvent comprendre les effets aérauliques induits par le bâtiment, les gains de chaleur interne des process et les systèmes de traitement climatique…

Les simulations CFD permettent d'étudier la conception de la ventilation et climatisation de grands volumes, afin de s'assurer que les entrées et sorties d'air permettent de ventiler correctement la pièce et s'assurer d'un confort optimal.

2.2. Logiciels utilisés

Le logiciel utilisé pour réaliser les études est le **logiciel Autodesk Simulation CFD 2021**. La maquette numérique est réalisée avec le **logiciel Inventor** à partir d'un modèle Revit.

2.3. Principe des conditions limites

Pour résoudre les équations aux dérivées partielles, il faut indiquer les conditions aux limites du calcul.

Les conditions limites sont définies en partie lors de la campagne de mesures sur site et d'après les informations collectées auprès de la maîtrise d'œuvre.

Nous étudierons le projet dans un volume ouvert sur l'extérieur en régime stationnaire. Pour ce type d'étude, il s'agit en général de définir :

Le type de parois :

- Le type de matériaux, ses propriétés physiques, des déperditions thermiques…
- S'il s'agit d'une paroi parfaitement glissante ou s'il faut prendre en compte la viscosité,
- La température de paroi et éventuellement le coefficient d'échange thermique si l'on résout l'équation de la chaleur sans calcul automatique des échanges convectifs.

Sur les surfaces ouvertes sur l'extérieur (condition limite de fluide) :

- S'il s'agit d'une entrée ou d'une sortie (le flux est à sens unique),
- Imposer un champ de vitesse ou un débit, ou bien imposer une pression statique moyenne…
- Imposer une température uniforme ou un flux d'enthalpie.
- Spécifier des coefficients de surface (au besoin) pour simuler transfert de chaleur avec le milieu environnant par les surfaces extérieures.

Les points de soufflage des systèmes seront modélisés de manière précise. Chaque point de soufflage sera modélisé depuis son emplacement et en tenant compte des températures de soufflage.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

La prise en compte des apports internes :

- La saisie des apports en W sur des volumes prédéfinis ou en fonction de la température de surface.
- La saisie des systèmes thermiques, système de ventilation spécifique aux zones d'étude à affiner.

Lors de la définition des conditions aux limites, il faut prendre en compte la stabilité du calcul : la résolution des équations se fait de manière approchée, en plusieurs étapes, et il importe que l'on se rapproche à chaque étape de la solution (voir méthode de calcul).

2.4. Principe du maillage

La simulation mathématique de l'écoulement de l'air et de procédés de transfert de chaleur comprend la résolution numérique d'un ensemble d'équations aux dérivées partielles, non linéaires, de second ordre.

Le modèle numérique des espaces étant composé d'une infinité de points, il est impossible de résoudre les équations aux dérivées partielles, même numériquement. La structure est donc découpée en un nombre fini de points qui se traduit par une décomposition de la géométrie en forme simple. L'ensemble de ces nœuds et éléments constituent le maillage du modèle.

Le logiciel effectue une interrogation topologique complète de la géométrie de l'analyse et détermine la taille et la distribution en maille sur chaque arête, surface et dans le volume du modèle. La courbure géométrique, les gradients, et la proximité d'une géométrie voisine sont considérés lors de l'attribution des tailles d'éléments et lors de la distribution du maillage. Le maillage est ensuite systématiquement affiné par les ingénieurs en charge des études dans les zones spécifiques d'étude et à fort gradient.

Le maillage est généré automatiquement selon la géométrie du modèle et à partir des conditions aux limites par l'usage d'algorithmes (méthode d'advection 5 types Petrov-Garlerkin) définissant la solution optimale de convergence.

Les études sont réalisées avec environ 30 millions d'éléments fluides pour les halls.
Le maillage réalisé est de type hybride. Les éléments de ce type de maillage sont générés sans aucune contrainte quant à leur disposition permettant de générer une géométrie complexe tout en gardant une bonne qualité des éléments. Le maillage généré combine un mélange d'éléments de différents types, tétraédriques, prismatiques ou pyramidaux en 3D. Il combine les avantages des maillages structurés et non structurés.

Dans chacun de ces volumes, les équations de conservation sont exprimées sous forme d'équations algébriques. Cet ensemble de volumes finis est désigné comme le maillage**.**

La grille est composée pour les études d'environ 30.000.000 éléments fluides non structurés (tétraèdres, pyramides et de prismes) avec raffinement de maillage sur la surface des sources de chaleur et dans les régions d'entrée et de sortie afin prendre en compte correctement ces phénomènes au niveau local. Le maillage fin est un élément déterminant dans la qualité des études ; mais peuvent entraîner des temps de résolution très élevés (ici temps le temps de résolution est supérieur à 40h de traitement numérique).

Les ingénieurs ont procédé à un raffinement spécifique du maillage dans certaines zones de manière à optimiser la densité des mailles dans le modèle.

Zone de raffinement manuel du maillage :

- **Serveurs**
- **Recycleurs**

Dans le modèle CFD, les parois du projet sont parfaitement étanches, ce qui signifie qu'il n'y a aucun interstice autre que ceux volontairement représentés dans l'enveloppe. Ainsi les entrées d'air dans les bâtiments liés aux défauts d'étanchéité de l'enveloppe (trous, passages de réseaux…) ne sont pas prises en compte.

2.5. Simulation numérique

Le solveur du code utilisé résout de manière approchée les équations en chaque nœud du maillage, en respectant les principes fondamentaux de la physique (conservation de masse et d'énergie).

La notion de modèle de turbulence est prépondérante en mécanique des fluides. Elle permet de cataloguer les différentes structures qui coexistent dans un écoulement et de leur donner une certaine importance au sein de l'écoulement. Les modèles de turbulence les plus utilisés à l'heure actuelle dans les codes CFD sont les modèles à 2 équations et particulièrement le modèle de turbulence dit k-e standard qui est de loin le plus répandu. Le modèle k-e est utilisé pour toutes les études de document.

Modèle k-epsilon standard :
Le modèle k-epsilon est un modèle largement répandu basé sur les équations de transport de l'énergie cinétique turbulente et de dissipation. Le modèle k-epsilon résout pour deux variables : « k « l'énergie cinétique turbulente et « epsilon » : le taux de dissipation d'énergie cinétique. Le modèle k-epsilon est le plus populaire pour les applications industrielles et en CVC en raison de sa bonne vitesse de convergence et les exigences de mémoire acceptable.

Ce modèle de turbulence étant particulièrement efficace pour traiter les problématiques de flux externes et internes autour de géométries complexes pour des flux et vitesses d'air standard dans le bâtiment.

2.6. Méthodologie de calcul

Le domaine de la solution était limité à l'intérieur de la salle des serveurs informatiques.

Les poutres et les colonnes susceptibles d'affecter le flux d'air ont été modélisées aussi précisément que possible sur la base du dessin de conception. Le transfert de chaleur en surface des serveurs est activité.
Les gains externes liés à la météorologie (solaire et température) sont pris en compte pour les parois donnant à l'extérieur.

Nous réaliserons ces études en considérant l'air comme un fluide incompressible dans un régime stationnaire (condition limite indépendante du temps) pour les scénarios standards. Cette méthodologie de calcul est particulièrement adaptée au data center compte tenu du process d'utilisation fonctionnant 24H sur 24H.

Les études CFD demandent une paramétrisation complexe et prennent en compte de nombreuses hypothèses de modélisation. Ces études doivent être lues comme un outil d'aide à la décision et de vérification dans le dimensionnement et la compréhension des phénomènes, elles ne peuvent représenter de manière exhaustive toutes les configurations climatiques et d'usage.

2.7. Notion de convergence en CFD

La méthode des éléments finis est une solution approchée d'un problème : il est nécessaire de vérifier la précision du calcul en validant la convergence du maillage et la cohérence des résultats (continuité des déformations dans la matière ...).

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

Pour définir la notion de convergence, il s'agit d'étudier les petites et grandes variations de fréquence dans tout le champ de la solution et d'évaluer les fluctuations locales et globales de chaque degré de liberté entre chaque itération. La valeur minimale, maximale et moyenne de toutes les variables dépendantes est examinée, ainsi lorsque la pente instantanée maximale dans toutes ces données est inférieure au niveau défini, la solution est arrêtée (on parle alors de solution ayant convergé).

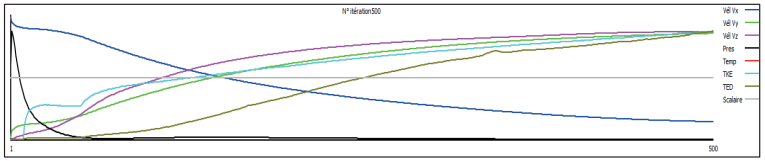


Figure – illustration du diagramme de convergence

Le calcul est contrôlé par les ingénieurs en charge des études afin de stabiliser la résolution des équations. Lorsque cela est jugé nécessaire, des contrôles manuels de sous relaxation (valeur itérative plus faible pour un calcul plus stable, mais plus lent) sont appliqués.

Toutes les études présentées dans ce document ont été auditées et sont considérées comme ayant convergé au ratio Dphi/phi 10^-4

3. Etude du bâtiment LUMIERE

3.1. Contexte de l'étude

Le modèle CAO externe réalisé reprend la géométrie simplifiée du site et de son environnement dans un rayon de 400m. Il a été réalisé à partir des plans et coupes du projet en .dwg ainsi qu'avec la maquette 3D fournis.



Présentation du modèle 3D d'étude - Global

La prise en compte des bâtiments environnant permet une plus grande précision sur l'évolution du vent sur site. En effet, le site étant dense en infrastructure, celle-ci constitue un grand nombre de masques aérauliques influent grandement sur l'évolution de l'air. Le bâtiment d'étude a été modélisé avec précision.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

3.2. Systèmes modélisés : TAR

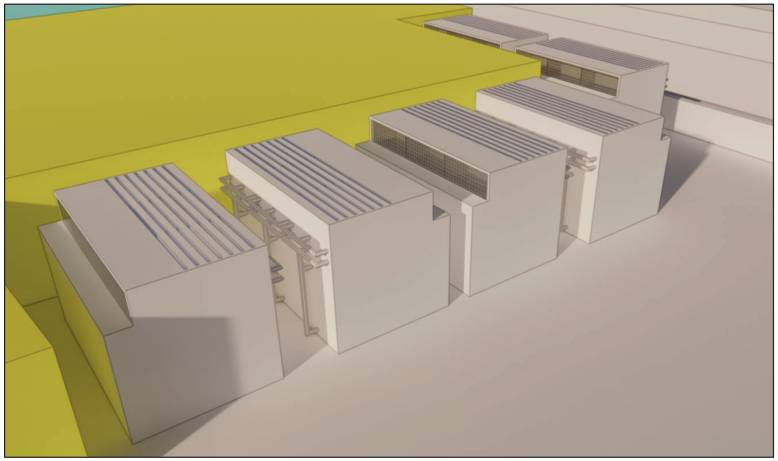


Figure – TAR

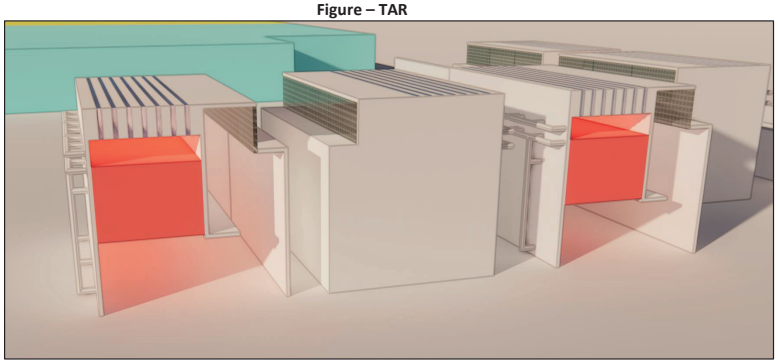


Figure – TAR

Les TAR en toiture ont été modélisés avec précision selon les fiches techniques fournies.

Caractéristiques des TAR :

- Débit d'aspiration/rejet : 177 523 m3/h
- Température de rejet : 35,7°C
- Taux d'humidité de rejet : 100%

La mise en place de ces conditions limites rigides bloque l'élévation en température de rejet en cas de bouclage. Il faut en tenir compte dans l'analyse des résultats.

3.3. Hypothèses

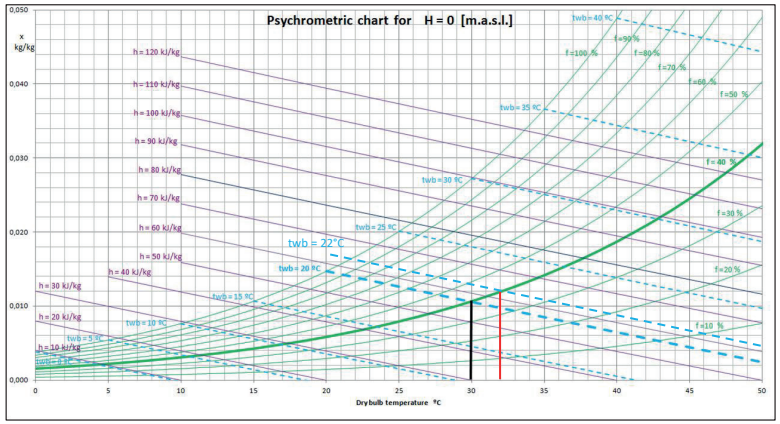


Figure – Taux d'humidité en fonction de la température extérieure et de la température du bulbe humide

Ce diagramme donne le taux d'humidité de l'air en fonction de la température du bulbe sec (température extérieure) et de la température du bulbe humide. **En noir**, pour une température de 30°C et un bulbe humide de 20°C, le taux d'humidité correspondant est 40%. En prenant les données de notre étude, **en rouge**, pour un régime de température extérieure à 32°C, et un bulbe humide de 22°C, le taux d'humidité correspondant est de 40%. Cette valeur est donc utilisée en simulation.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

EOLIOS Ingénierie

4. Résultats de l'étude thermo-aéraulique

4.1. Contexte

Le vent est un phénomène très variable, tant en ce qui concerne sa direction et sa vitesse. Alors que les vitesses de pointe sont importantes en calcul de structure, les vitesses et directions moyennes sont plus appropriées pour les études thermo-aérauliques en régime défavorable.
Le vent est considéré constant à **4** m/s (14,4 km/h) d'origine perpendiculaire au site.

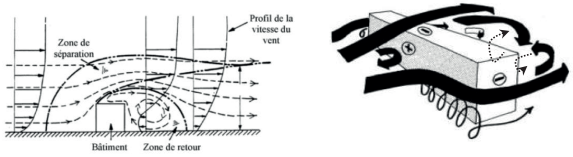


Figure – Simplifcation de l'écoulement autour du bâtiment.

Ce vent est jugé défavorable, car il est susceptible de rabattre le panache thermique des groupes électrogènes vers les systèmes de toiture.

4.2. Version de base

Le vent influence les courants d'air autour de la construction, cela s'explique par le fait que le bâtiment forme un obstacle aux différents courants d'air.

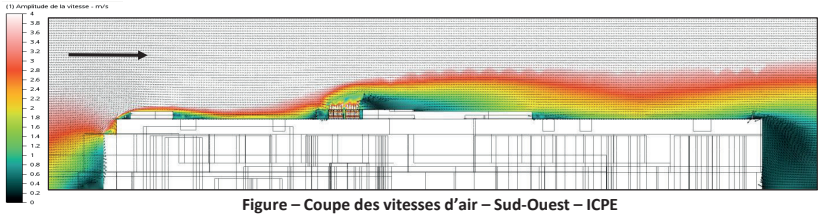


Figure – Coupe des vitesses d'air – Sud-Ouest – ICPE

Ainsi, lorsque le vent vient heurter un bâtiment, trois zones principales de perturbation apparaissent. À l'avant un vortex turbulent dû à l'écoulement descendant sur la face au vent. À l'arrière du bâtiment, une zone de turbulence qui s'étire dans la cavité de basse pression dut à la séparation des écoulements au niveau des bords du bâtiment. Plus loin, le sillage du bâtiment, caractérisé par une turbulence élevée et des vitesses horizontales inférieures opposées à celles de l'écoulement non perturbé.

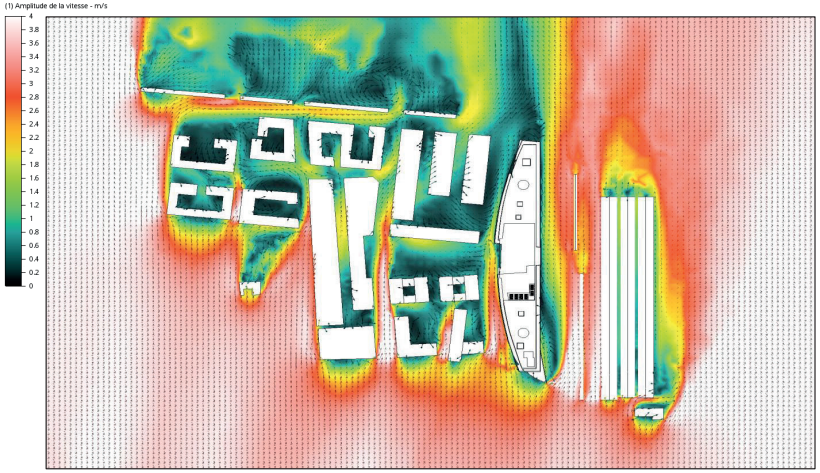


Figure – Coupe des vitesses d'air – Sud-Ouest – ICPE

4.3. Résultats de l'étude : cas initial – vent d'origine Sud-Ouest de vitesse 4 m/s

4.3.1 Plans de vitesses d'air

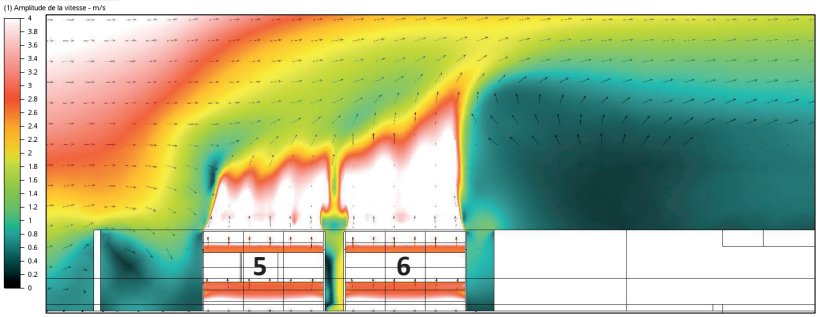


Figure – Coupe des vitesses d'air – Sud-Ouest – ICPE

Les rejets des TAR de sont dirigés vers le haut et orientés par le vent de Sud-Ouest. En amont des TAR, le mur fait office de masque aéraulique au vent de Sud-Ouest et limite l'apport d'air sur les TAR, on observe une zone de vitesses faibles en amont des systèmes. En aval des 2 TAR, on observe également une zone de faible vitesse d'air.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

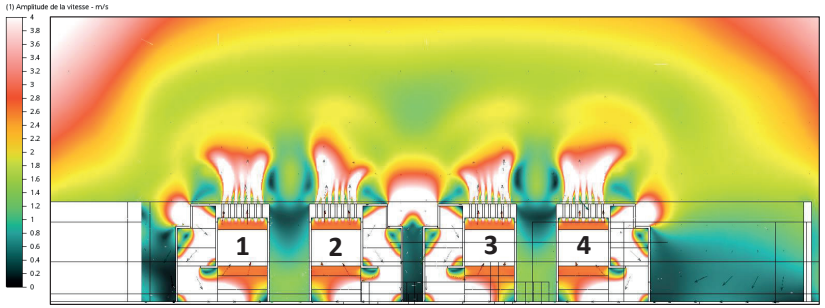


Figure – Coupe des vitesses d'air – Sud-Ouest – ICPE

Sur cette figure, on observe l'aspiration des TAR par la grille latérale et le rejet de ces derniers vers le haut. Les vecteurs vitesse et le « décrochage » des panaches de vitesse semble montrer un bouclage d'air. L'air rejeté par les TAR semble réaspiré par ces derniers. Le mur en amont des TAR limite l'apport d'air latéral et force les systèmes à aspirer l'air en partie haute.

4.3.2 Plans de températures

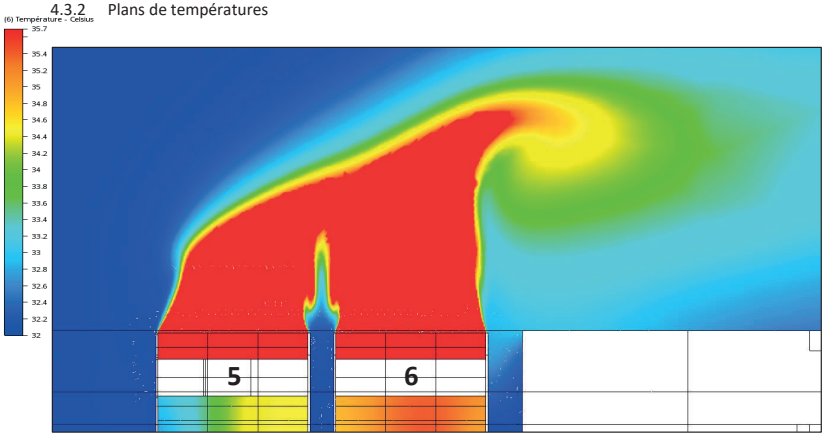


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

Les rejets des 2 TAR à 35,7°C ne semblent pas se polluer. L'air chaud est évacué en hauteur et dirigé par le vent. On observe une zone de température d'environ 33,3°C correspondant à une élévation de température de +1,3°C dans le sillage des TAR, cela est dû aux faibles vitesses observées dans cette zone qui empêchent les calories d'être évacuées au loin.

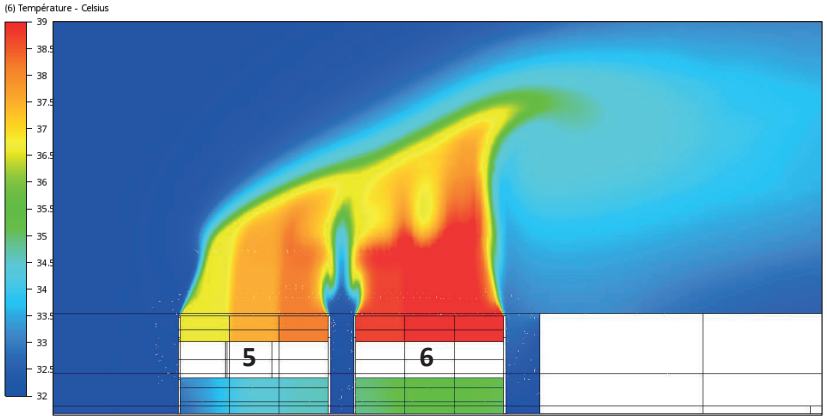


Figure – Coupe des températures inférieures à 39°C – Sud-Ouest – ICPE

La température de rejet de la TAR à droite atteint 39°C.

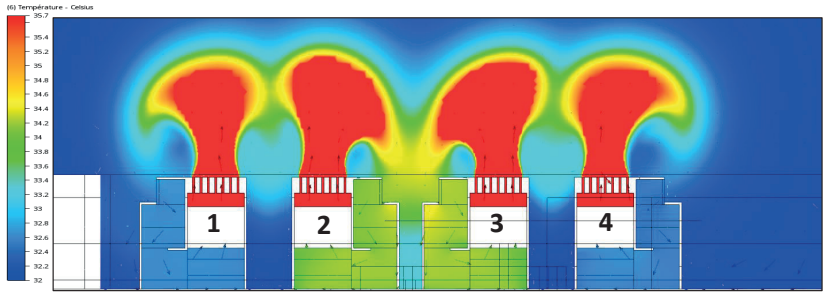


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

Le bouclage est mis en évidence sur cette figure, on observe des températures plus élevées « à l'intérieur » des TAR (environ 34°C pour les 2 TAR centraux et 32,5°C pour les 2 TAR sur les extrémités) qui montrent un bouclage des systèmes sur eux-mêmes.

Le phénomène est plus présent et problématique au niveau des 2 TAR centraux car dans cette zone, l'apport d'air neuf de température 32°C est moindre du fait du mur (masqué sur cette coupe) positionné devant les TAR faisant office de masque aéraulique au vent et limitant l'arrivée d'air neuf latéralement (cf **§ 4.3.1**). De plus, le positionnement des aspirations face à face des 2 TAR centraux donne lieu à une augmentation du débit d'aspiration dans cette zone.

Cette augmentation de débit couplée au masque aéraulique créé par le mur en amont force une aspiration d'air en partie haute augmentant davantage les températures aspirées dans le local. Il en résulte une zone de température plus élevée atteignant 34,4°C au niveau des grilles d'aspiration extérieures.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

EOLIOS Ingénierie

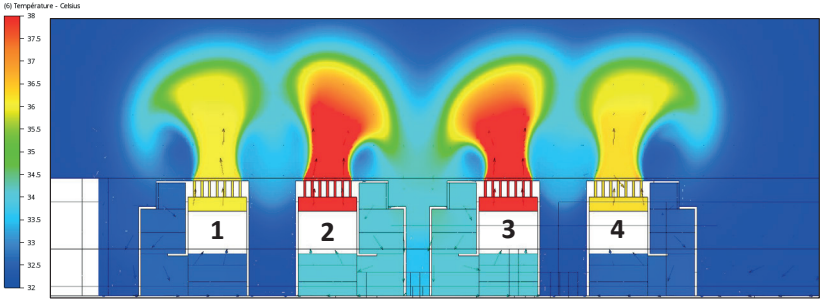


Figure – Coupe des températures inférieures à 38°C – Sud-Ouest – ICPE

La température de rejet des TAR atteint 38°C. La température de l'air repris par les TAR atteint 34°C.

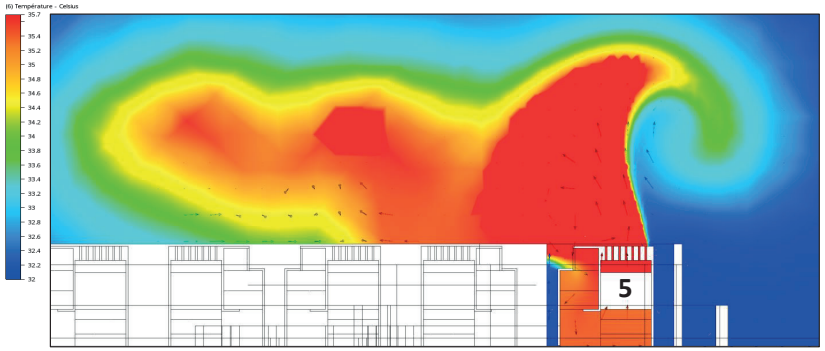


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

Le bouclage sur la TAR la plus au Nord est mis en évidence sur cette figure. Elle aspire à des températures atteignant 36°C en raison du mur des locaux situé très proche de l'aspiration, elle est « enclavée » entre 2 murs, il en résulte un apport d'air neuf insuffisant et la TAR aspire l'air en partie haute.

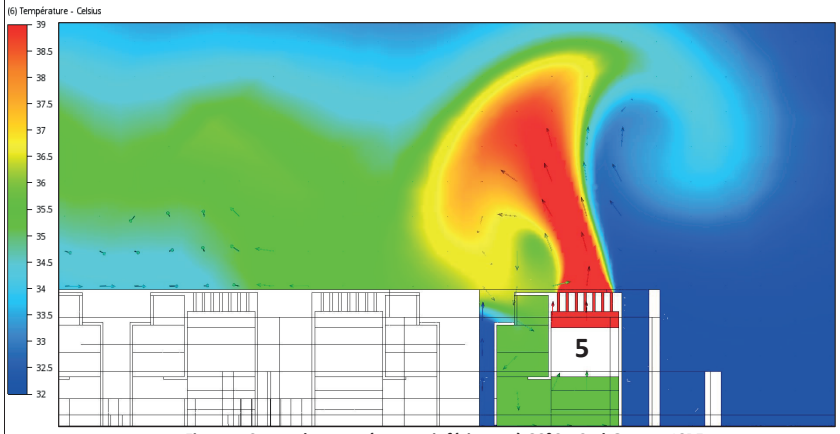


Figure – Coupe des températures inférieures à 39°C – Sud-Ouest – ICPE

La température de rejet de la TAR atteint 39°C. La température de l'air repris par la TAR atteint 36°C.

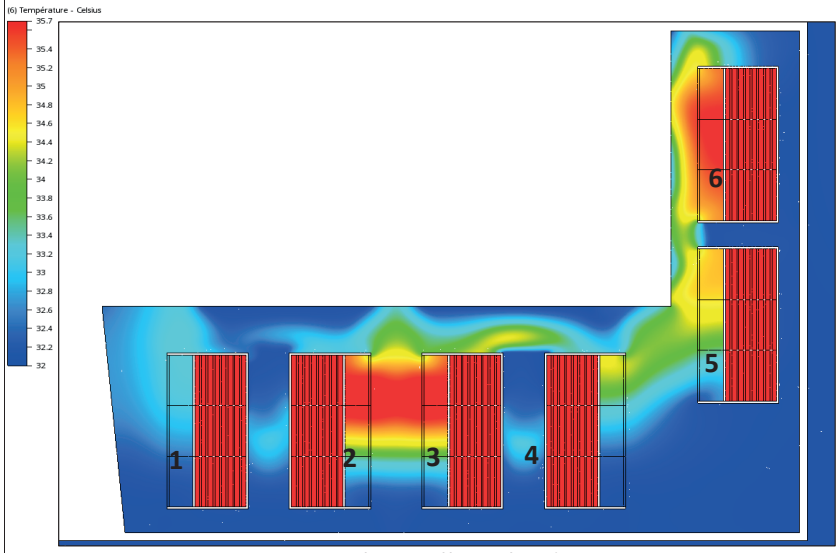


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

Cette figure illustre le bouclage des TAR. La température de l'air repris atteint jusqu'à 36°C au niveau des TAR 2, 3 et 6.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

La simulation permet de connaître la température moyenne au niveau de l'aspiration de chaque TAR (les TAR sont numérotées comme sur la figure précédente) :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Température moyenne au niveau de l'aspiration	32,62°C	34,37°C	34,45°C	32,9°C	33,97°C	35,35°C

Tableau – Température moyenne au niveau de l'aspiration

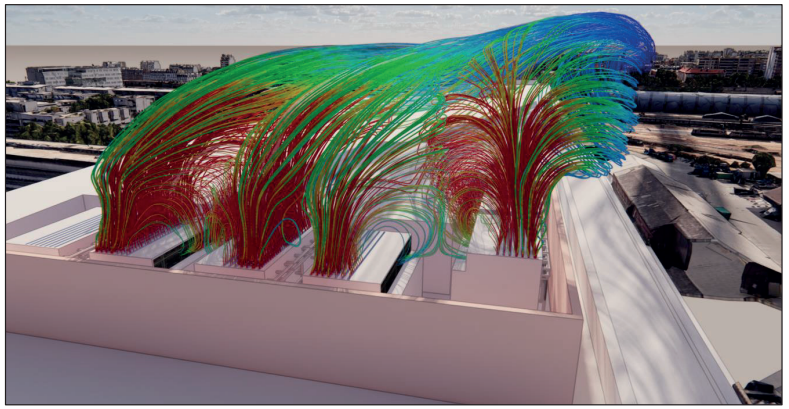


Figure – Traces de courant – cas initial – Sud-Ouest – ICPE

Le bouclage des TAR 2, 3, 4, 5 et 6 est visible sur ces traces de courant

4.3.3 Plans d'humidité

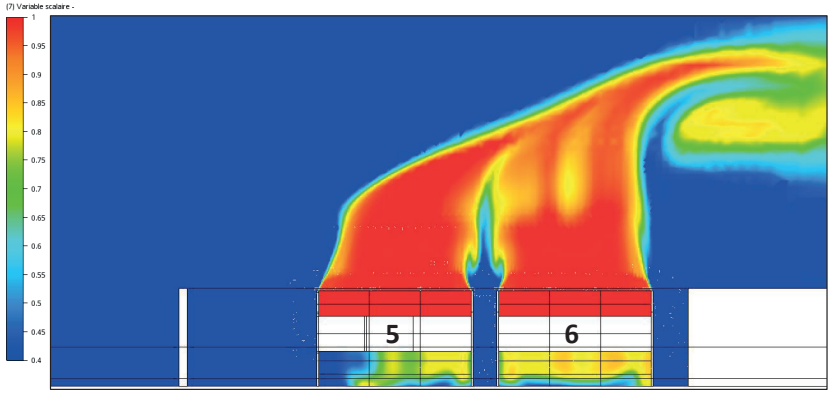


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

L'humidité rejetée par les TAR est dirigée par le vent et dissipée au loin. Comme pour les températures, on observe une zone d'humidité stagnante à environ 70% dans le sillage des TAR due aux faibles vitesses.

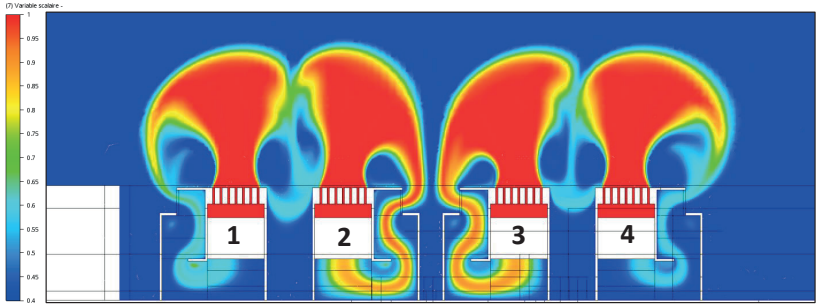


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

Cette coupe d'humidité montre une nouvelle fois le bouclage des TAR sur eux-mêmes. L'air humide rejeté par les TAR est réaspiré par ces derniers. Comme pour le bouclage en température, ce phénomène est plus important et problématique pour les 2 TAR situées au centre.

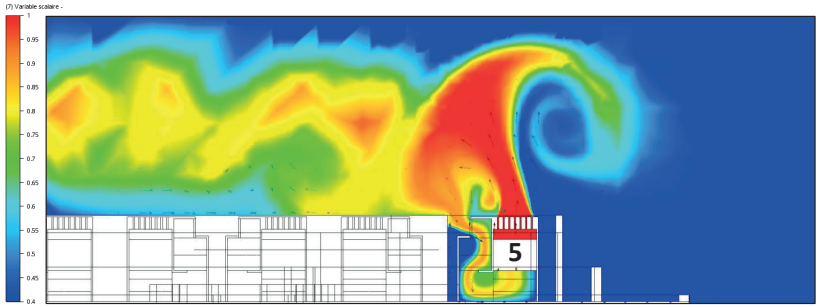


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

EOLIOS Ingénierie

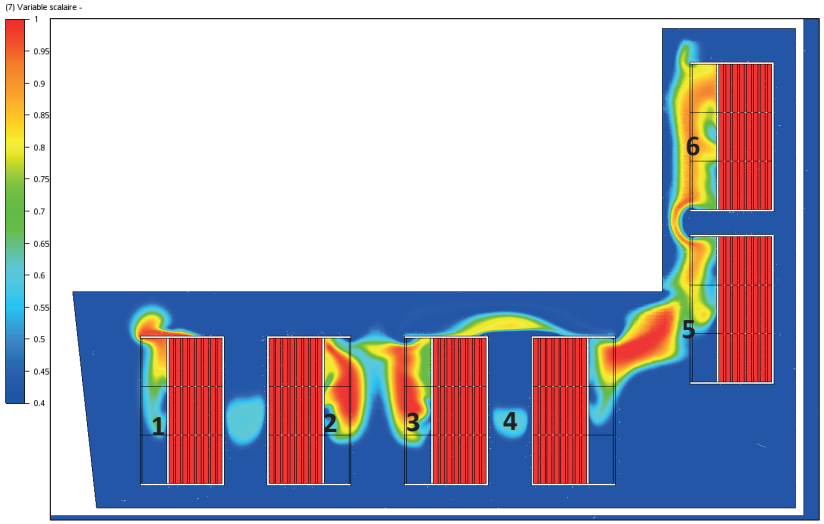


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

Comme en température, cette figure montre le bouclage en humidité sur l'ensemble des TAR.

La simulation permet de connaître le taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration de chaque TAR (les TAR sont numérotées comme sur la figure précédente) :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration	49,79%	62,97%	64,39%	52,48%	60,46%	73,53%

Tableau – Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration

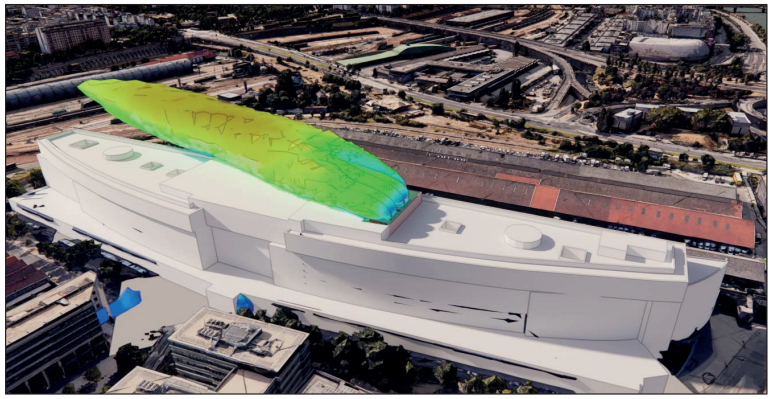


Figure – Iso volume d'humidité supérieure à 40% – Sud-Ouest – ICPE

On observe sur ces figures les panaches d'humidités supérieures à 50% et 41%. On en déduit que l'air humide rejeté par les TAR se dissipe dans l'air ambiant à un taux d'humidité de 40% vers l'extrémité du bâtiment LUMIERE.Le taux d'humidité dans l'air est alors plus élevé sur environ 240 mètres à partir de la sortie des TAR. La crèche présente au niveau rez-de-dalle en pied du bâtiment n'est pas impactée.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

4.4. Conclusion de l'étude

L'objectif de cette étude est d'analyser les rejets de 6 TAR placées en toiture du bâtiment LUMIERE. Les TAR rejettent de l'air avec un taux d'humidité de 100% à une température initiale de 35,7°C.

Une simulation a été réalisée pour un vent de Sud-Ouest de vitesse 4 m/s, une température extérieure de 32°C et un taux d'humidité de 40% dans l'air conformément aux données fournies. Les résultats de la simulation ont mis en lumière un bouclage des TAR sur eux-mêmes, l'air humide est rejeté puis réaspiré par les TAR. Ce phénomène est d'autant plus présent pour les TAR dont l'aspiration est face à l'aspiration de la TAR voisine ou de masques aérauliques comme les murs. En effet, ces installations entrainent une réduction de l'apport d'air neuf à une température de 32°C et un taux d'humidité de 40%. De ce fait, les TAR ont tendance à aspirer l'air en partie haute présentant une température et un taux d'humidité plus élevés (température allant jusqu'à 36°C et taux d'humidité atteignant 95% à l'aspiration des TAR). **Enfin, pour un vent de Sud-Ouest, l'air rejeté par les TAR présente un taux d'humidité plus élevée que l'air extérieur (40%) sur environ 240 mètres soit la longueur du bâtiment après les TAR.**

A l'aspiration des TAR, voici la température et le taux d'humidité moyen :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Température moyenne au niveau de l'aspiration	32,62°C	34,37°C	34,45°C	32,9°C	33,97°C	35,35°C

Tableau – Température moyenne au niveau de l'aspiration

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration	49,79%	62,97%	64,39%	52,48%	60,46%	73,53%

Tableau – Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration

Les nombreux bouclages des systèmes sur eux-mêmes, couplés à l'impact des masques aérauliques sur l'évacuation de l'humidité entravent le bon fonctionnement des systèmes. En l'état, la conception actuelle des systèmes en toiture du bâtiment ne semble pas fonctionnelle.

Dans l'objectif de réduire le bouclage des TAR sur eux-mêmes, nous recommandons l'installation de ventelles à la place du mur autour des TAR afin de limiter l'effet de masque aéraulique créé par ce dernier. Cela devrait permettre de favoriser l'apport d'air neuf et limiter les zones de faibles vitesses en partie basse des TAR.



Figure – Modèle 3D avec ventelles périphériques

Dans le cas où l'installation de ventelles s'avérerait insuffisante et que les bouclages des systèmes sur eux-mêmes persisteraient, nous conseillons l'installation de capotages horizontaux à hauteur des rejets des systèmes limitant la redescente des panaches vers l'aspiration.

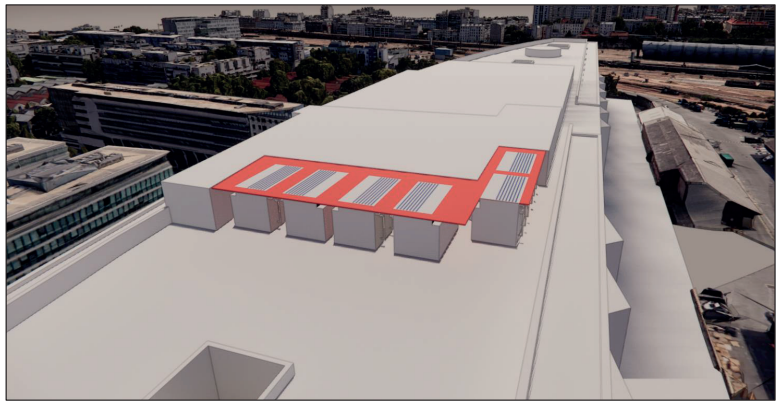


Figure – Modèle 3D avec capotage horizontal – Ventelles masquées

Si l'installation d'un capotage horizontal intégrale s'avère trop compliquée à mettre en œuvre, une possibilité est d'installer plusieurs capotages horizontaux au niveau de l'aspiration des TAR.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

EOLIOS Ingénierie



Figure – Modèle 3D avec capotages horizontaux – Ventelles masquées

Dans le cas où des capotages horizontaux seraient compliqués à mettre en œuvre, l'installation de capotages verticaux au niveau des sorties des TAR permettraient également d'augmenter la distance entre le rejet et l'aspiration des TAR et ainsi de limiter les effets de bouclage. Cette solution sera tout de même moins efficace qu'un capotage horizontal. L'image présente ici une version simplifiée avec un seul capotage, une solution avec un capotage total autour de l'évacuation des TAR serait certainement plus efficace. Cependant, l'installation de capotages verticaux doit être validée avec les équipes afin d'éviter tout risque d'arrachement.



Figure – Modèle 3D avec capotage vertical

5. Résultat de l'étude : Ventelles périphériques – vent de Sud-Ouest

5.1. Modifications apportées au modèle



Figure – Modèle 3D avec ventelles – ICPE

5.2. Plans de vitesses d'air

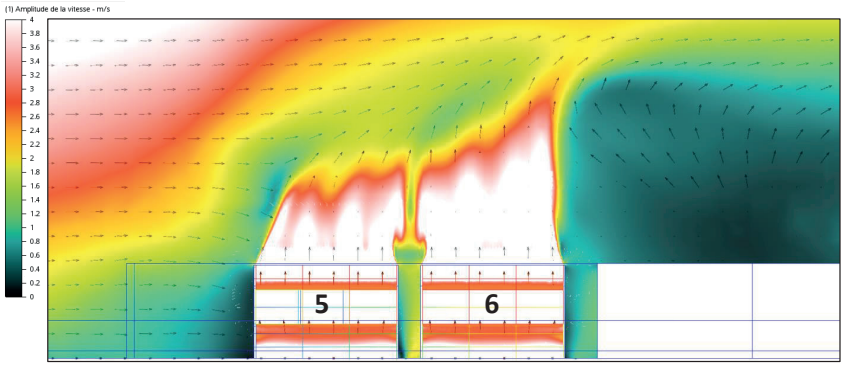


Figure – Coupe des vitesses d'air – Sud-Ouest – ICPE

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

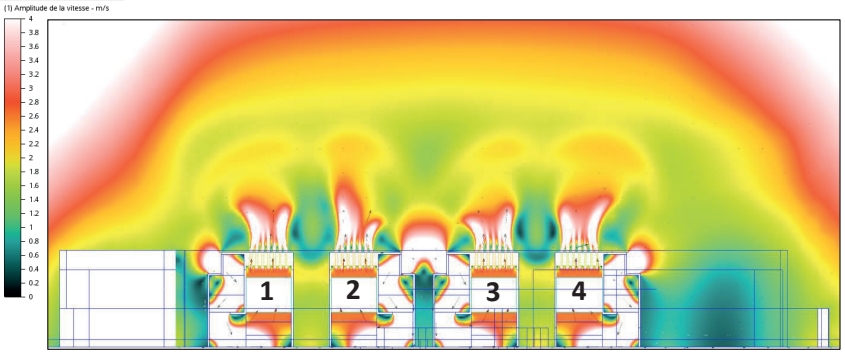


Figure – Coupe des vitesses d'air – Sud-Ouest – ICPE

5.3. Plans de températures

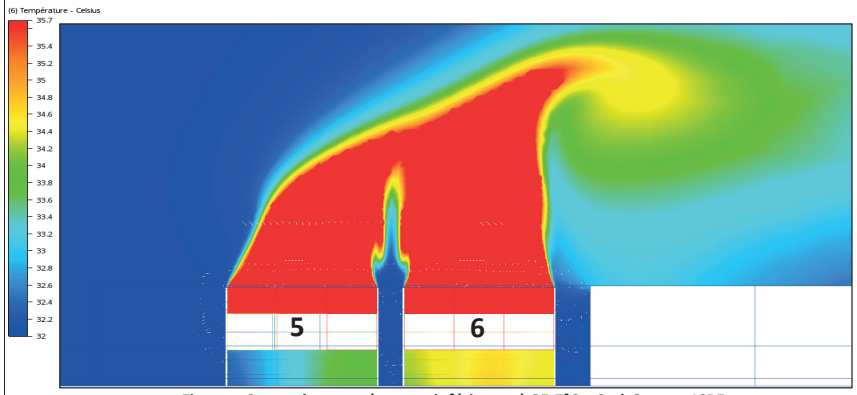


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

Des températures supérieures à 32°C sont présentes dans les TAR, illustrant que le bouclage est toujours présent. Ces températures atteignent 34,5°C dans la TAR de droite, elles sont moins élevées que dans le cas précédent, le bouclage est donc moins important, mais cela représente tout de même une élévation de 2,5°C par rapport à la température extérieure.

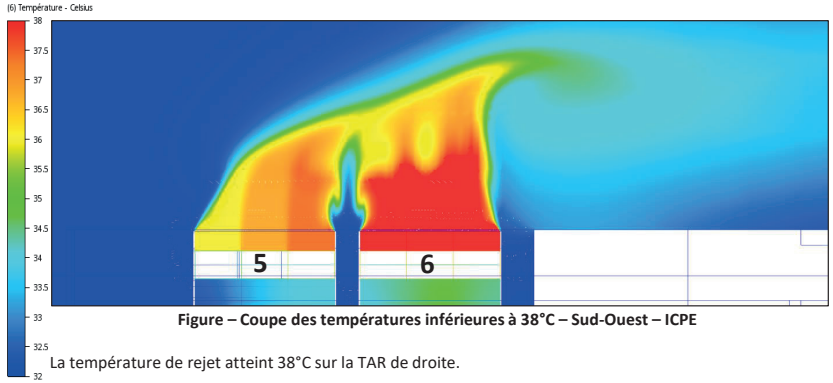


Figure – Coupe des températures inférieures à 38°C – Sud-Ouest – ICPE

La température de rejet atteint 38°C sur la TAR de droite.

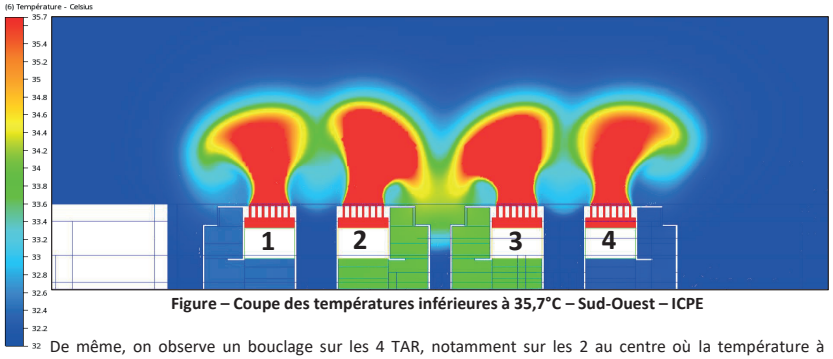


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

De même, on observe un bouclage sur les 4 TAR, notamment sur les 2 au centre où la température à l'aspiration atteint 33,8°C. Le bouclage est donc moins important que dans le cas initial mais tout de même présent.

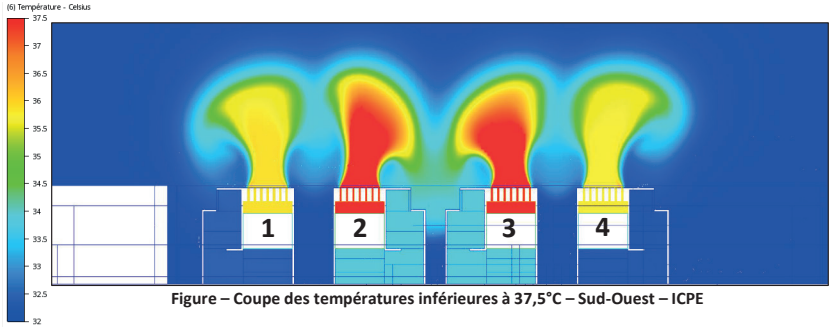


Figure – Coupe des températures inférieures à 37,5°C – Sud-Ouest – ICPE

La température de rejet atteint 37,5°C sur les TAR centrales.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

EOLIOS Ingénierie

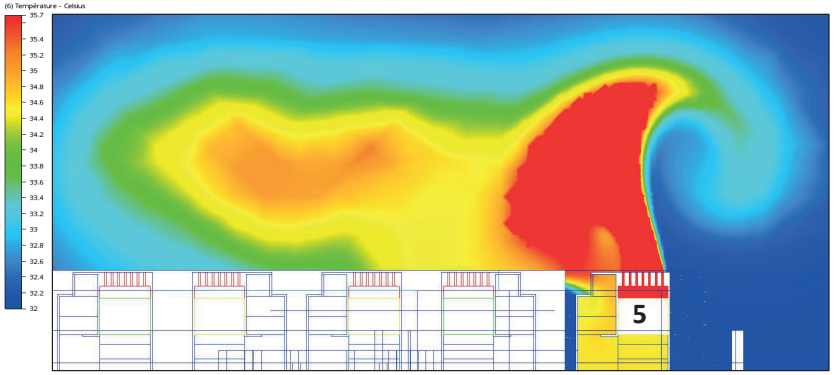


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

La température à l'aspiration de la TAR la plus au Nord atteint 34,5°C.

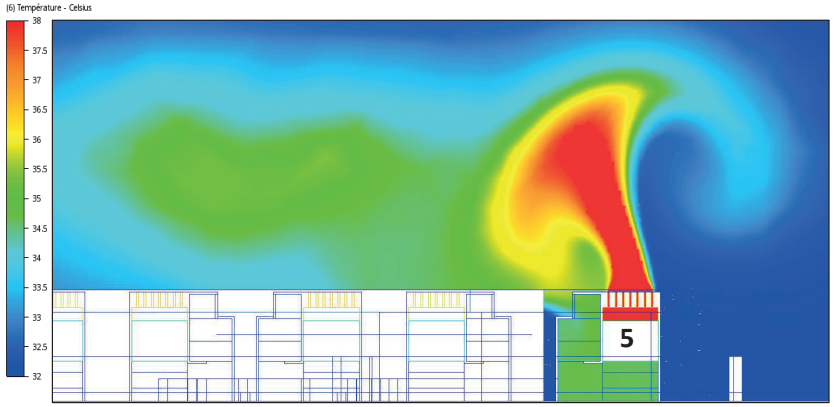


Figure – Coupe des températures inférieures à 38°C – Sud-Ouest – ICPE

La température de rejet atteint 38°C sur la TAR la plus au Nord.

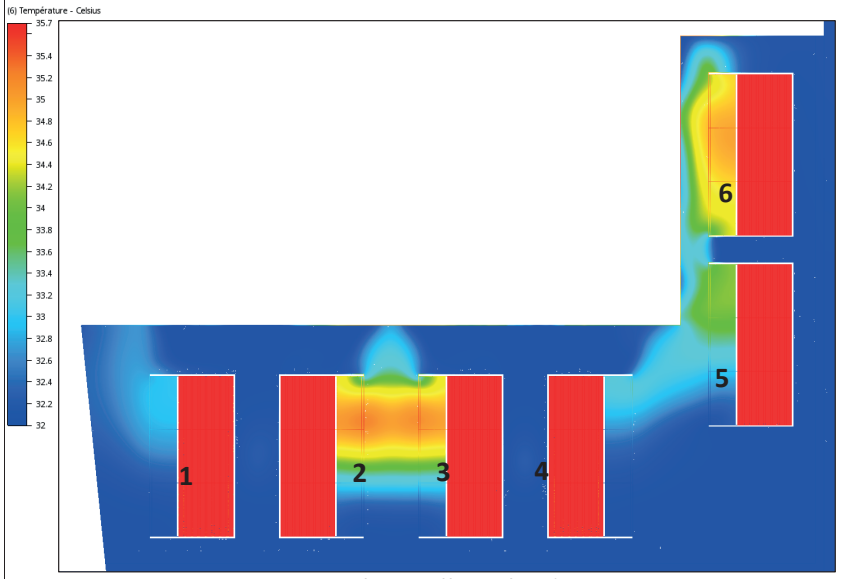


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

Cette figure illustre le bouclage des TAR. La température de l'air repris atteint jusqu'à 34,8°C au niveau des TAR 2, 3 et 6.

La simulation permet de connaître la température moyenne au niveau de l'aspiration de chaque TAR (les TAR sont numérotées comme sur la figure précédente) :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Température moyenne au niveau de l'aspiration	32,4°C	33,74°C	33,74°C	32,32°C	33,23°C	34,6°C

Tableau – Température moyenne au niveau de l'aspiration

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

EOLIOS Ingénierie

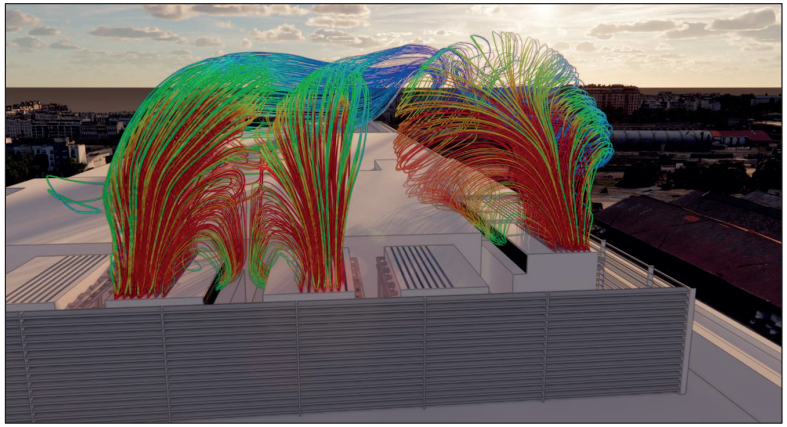


Figure – Traces de courant – ventelles – Sud-Ouest – ICPE

Le bouclage des TAR 2, 3, 5 et 6 est visible sur ces traces de courant.

5.4. Plans d'humidité

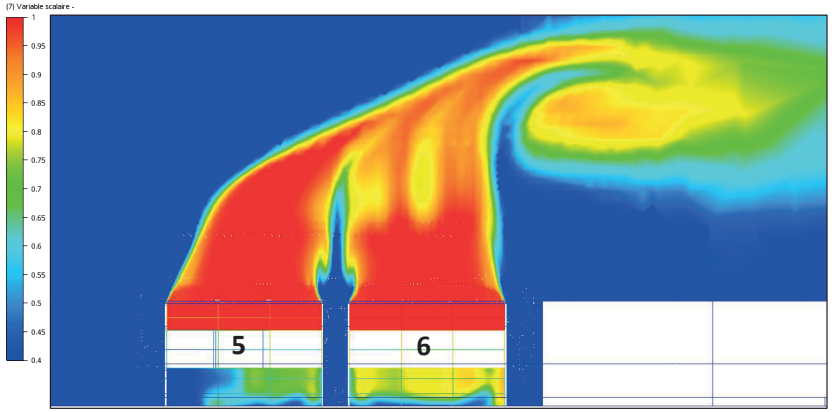


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

Les mêmes phénomènes de bouclage observés en température ont lieu en humidité. L'air repris par la TAR de droite atteint un taux d'humidité de 85%.

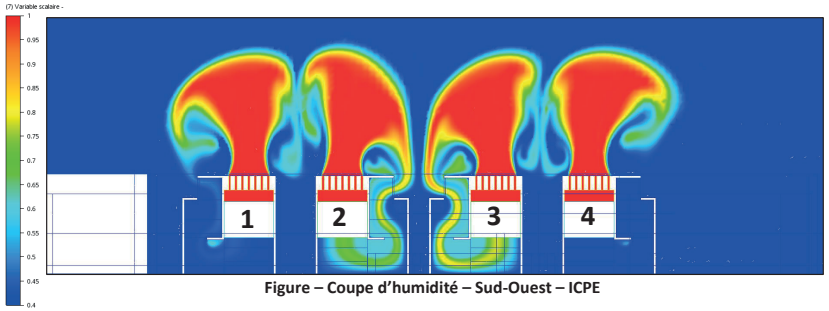


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

L'air repris par les TAR centrales atteint un taux d'humidité de 80%.

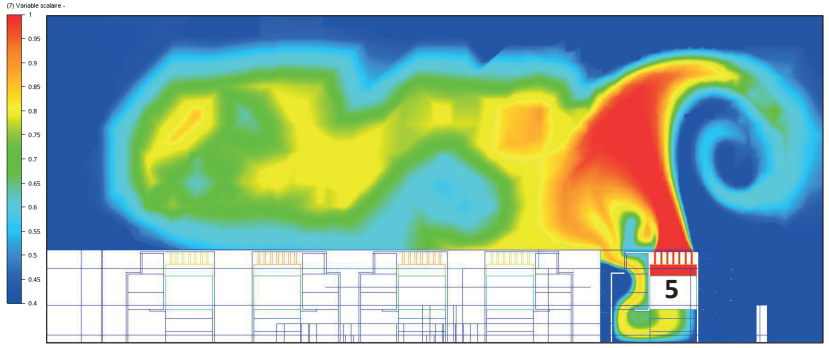


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

L'air repris par la TAR au Nord atteint un taux d'humidité de 85%.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

EOLIOS Ingénierie

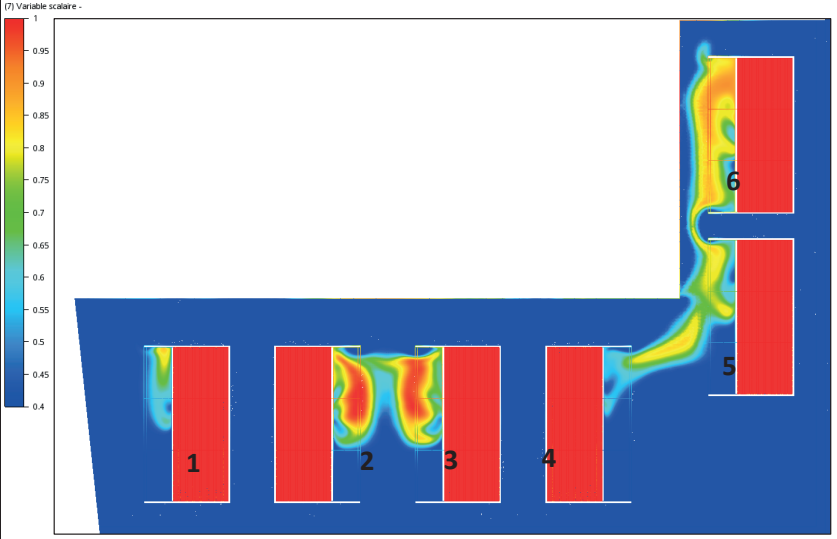


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

Comme en température, cette figure montre le bouclage en humidité sur l'ensemble des TAR.

La simulation permet de connaître le taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration de chaque TAR (les TAR sont numérotées comme sur la figure précédente) :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration	45,77%	58,78%	59,66%	44,2%	55,06%	70,29%

Tableau – Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration

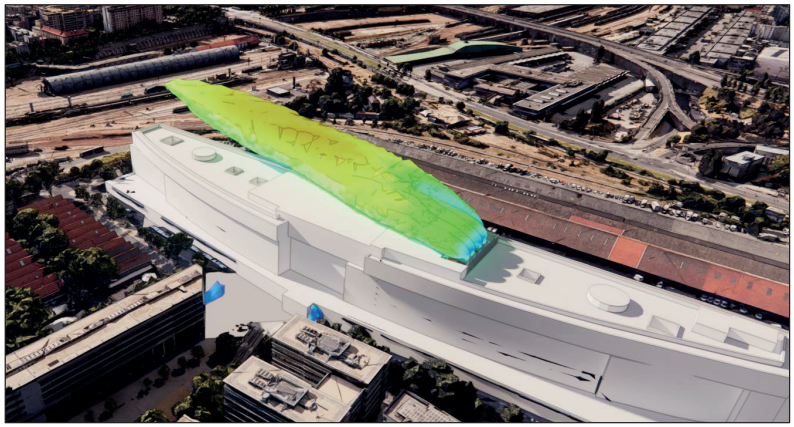


Figure – Isovolume de l'air ayant un taux d'humidité supérieur à 40% - Sud-Ouest – ICPE

L'air rejeté ayant un taux d'humidité supérieur à 40% créée un panache jusqu'à l'extrémité du bâtiment lorsque le vent provient du Sud-Ouest. Le taux d'humidité dans l'air est alors plus élevé sur 240 mètres à partir de la sortie des TAR.
La crèche présente au niveau rez-de-dalle en pied du bâtiment n'est pas impactée.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

5.5. Conclusion de l'étude

La conception initiale ne semblant pas fonctionnelle, une nouvelle étude a été menée en remplaçant le mur plein autour des TAR par des ventelles pour favoriser le passage de l'air perpendiculairement aux TAR.

Une simulation a été réalisée pour un vent de Sud-Ouest de vitesse 4 m/s, une température extérieure de 32°C et un taux d'humidité de 40% dans l'air conformément aux données fournies. Les résultats de la simulation ont de nouveau mis en lumière un bouclage des TAR sur eux-mêmes, toutefois moins important que dans le cas initial. L'apport d'air neuf a donc été augmenté grâce aux ventelles périphériques mais pas suffisamment pour empêcher le bouclage. De ce fait, les TAR ont tendance à aspirer l'air en partie haute présentant une température et un taux d'humidité plus élevés (température allant jusqu'à 34,8°C et taux d'humidité atteignant 85% à l'aspiration des TAR). **Enfin, pour un vent de Sud-Ouest, l'air rejeté par les TAR présente un taux d'humidité plus élevée que l'air extérieur (40%) sur environ 240 mètres soit la longueur du bâtiment après les TAR.**

A l'aspiration des TAR, voici la température et le taux d'humidité moyen :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Température moyenne au niveau de l'aspiration	32,4°C	33,74°C	33,74°C	32,32°C	33,23°C	34,6°C
Variation par rapport au cas initial	-0,22°C	-0,63°C	-0,71°C	-0,58°C	-0,74°C	-0,75°C

Tableau – Température moyenne au niveau de l'aspiration

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration	45,77%	58,78%	59,66%	44,2%	55,06%	70,29%
Variation par rapport au cas initial	-4,02%	-4,19%	-4,73%	-8,28%	-5,4%	-3,24%

Tableau – Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration

Les températures et taux d'humidité à l'aspiration des TAR sont plus faibles que dans le cas initial. Le bouclage est donc moins important TAR que dans le cas initial sur l'ensemble des.

Toutefois, les bouclages des systèmes sur eux-mêmes entravent le bon fonctionnement des systèmes. En l'état, la conception actuelle des systèmes en toiture du bâtiment ne semble pas fonctionnelle.

6. Résultat de l'étude : capotage partiel – vent de Sud-Ouest

6.1. Modifications apportées au modèle

Des capotages partiels horizontaux ont été ajoutés.



Figure – Modèle 3D avec capotages horizontaux – Ventelles masquées

6.2. Plans de vitesses d'air

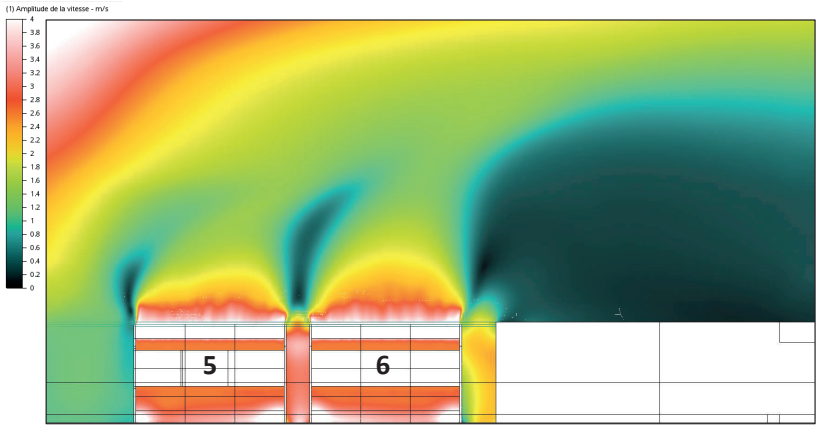


Figure – Coupe des vitesses d'air – Sud-Ouest – ICPE

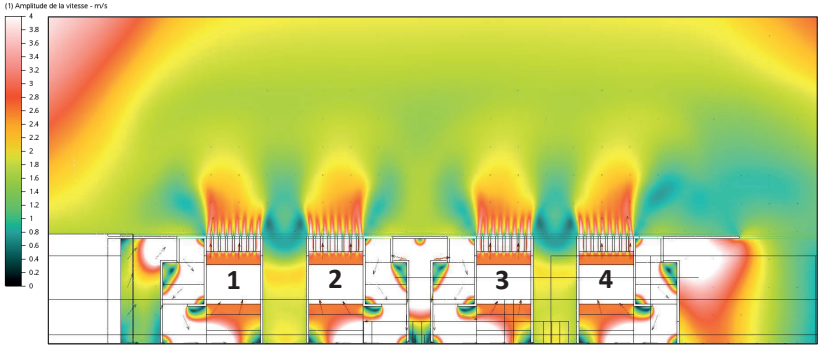


Figure – Coupe des vitesses d'air – Sud-Ouest – ICPE

Les vitesses d'air en sortie de TAR sont moins élevées que dans le cas précédent, ce qui témoigne d'un manque d'apport d'air à l'aspiration des TAR.

6.3. Plans de températures

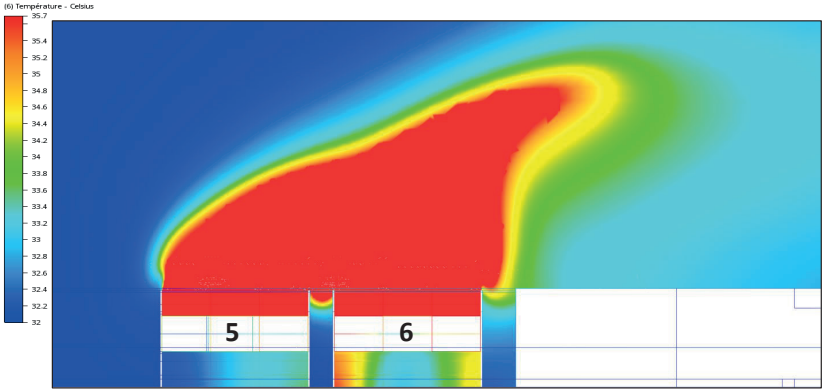


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

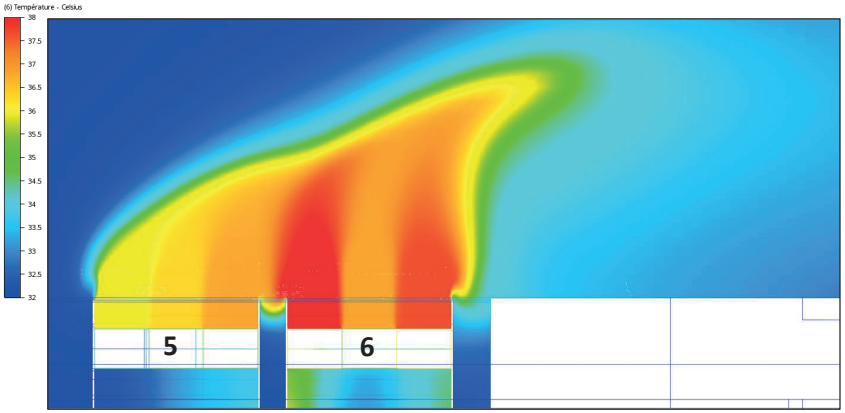


Figure – Coupe des températures inférieures à 38°C – Sud-Ouest – ICPE

Les vitesses d'air moins élevées provoquent une légère stagnation des calories notamment entre les 2 TAR. La température de rejet de la TAR à droite atteint 38°C au niveau de la partie gauche de la TAR. Il y également une température plus chaude d'environ 37,5°C à droite de cette TAR. Cela montre qu'il y a un manque d'apport d'air neuf entre les 2 TAR et à droite de la TAR située à droite.

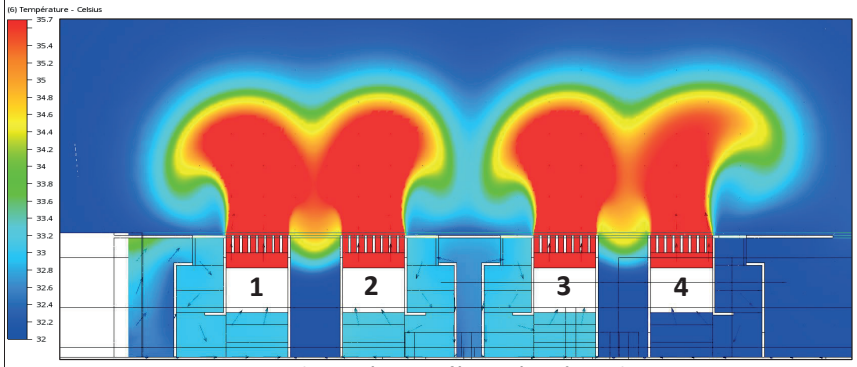


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

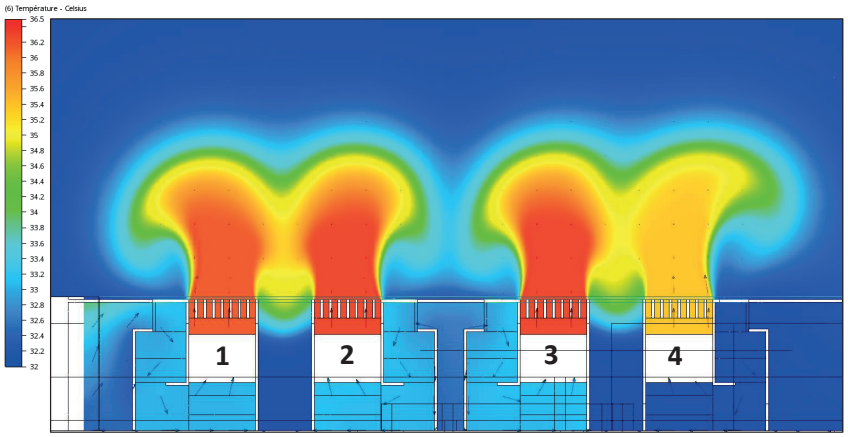


Figure – Coupe des températures inférieures à 36,5°C – Sud-Ouest – ICPE

La température de rejet des TAR atteint 36,5°C soit 1,5°C de moins que dans le cas précédent sans capotages.. La température de l'air repris par les TAR atteint 33°C soit 1,5°C de moins que dans le cas précédent, et une élévation de seulement 1°C par rapport à la température extérieure.

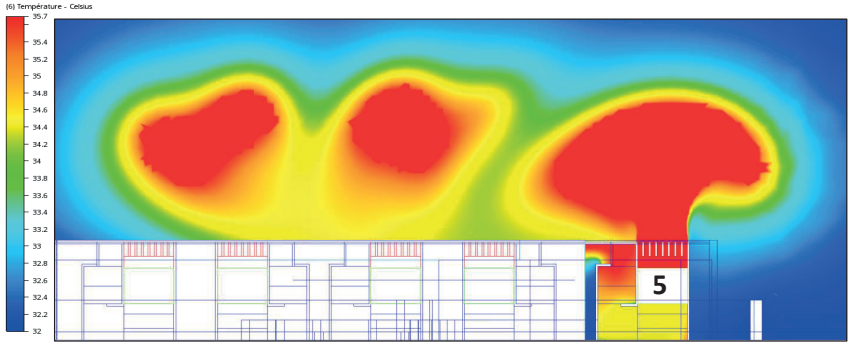


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

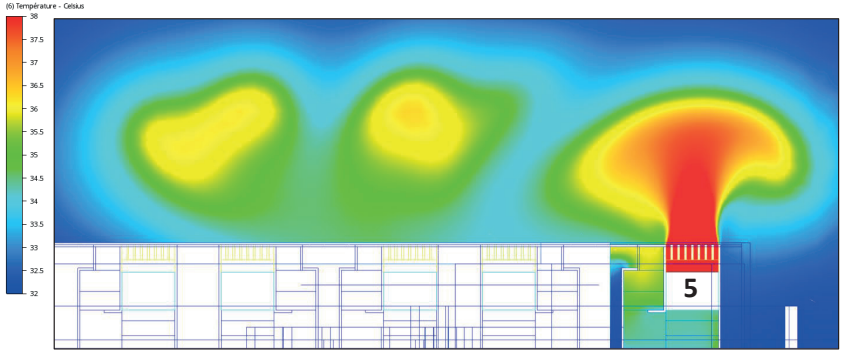


Figure – Coupe des températures inférieures à 39°C – Sud-Ouest – ICPE

La température de rejet de la TAR atteint 38°C. La température de l'air repris par la TAR atteint localement 36°C.

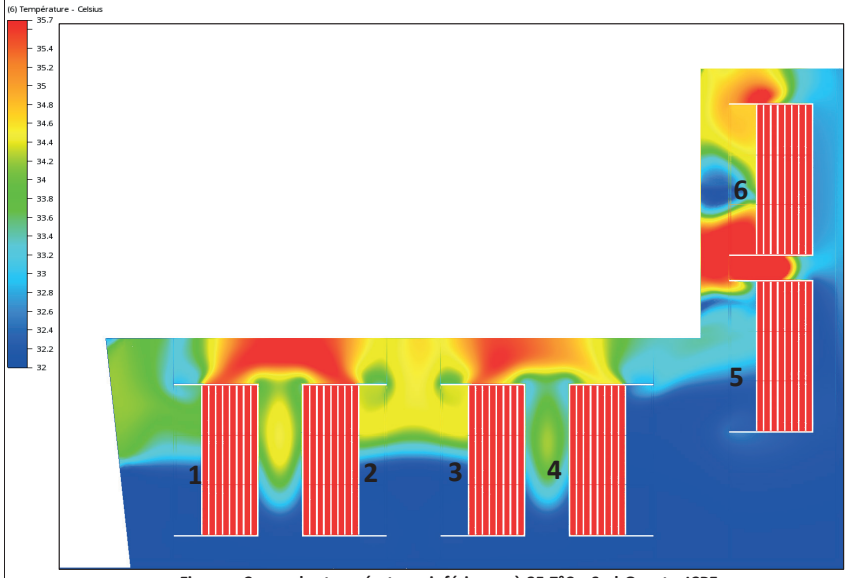


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

Comme observé précédemment, il y a toujours du bouclage sur les TAR, à des températures plus faibles que dans le cas précédent. Les capotages permettent de réduire ce phénomène, mais le manque d'apport d'air neuf au niveau des aspirations force les rejets à redescendre et d'engouffrer sous les capotages pour être réaspiré par les TAR.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

La simulation permet de connaître la température moyenne au niveau de l'aspiration de chaque TAR (les TAR sont numérotées comme sur la figure précédente) :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Température moyenne au niveau de l'aspiration	32,8°C	33,03°C	33,04°C	32,07°C	32,8°C	33,97°C

Tableau – Température moyenne au niveau de l'aspiration

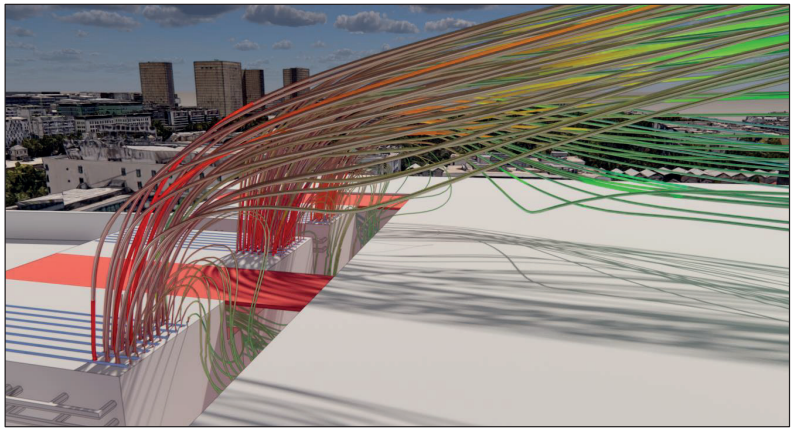


Figure – Traces de courant – ventelles masquées – Sud-Ouest – ICPE

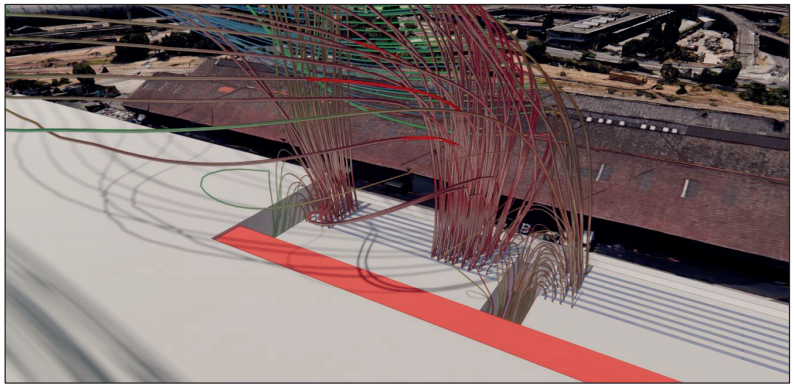


Figure – Traces de courant – ventelles masquées – Sud-Ouest – ICPE

Le bouclage des TAR est visible sur ces figures de traces de courant. L'air rejeté s'engouffre sous les capotages avant d'être réaspiré.

6.4. Plans d'humidité

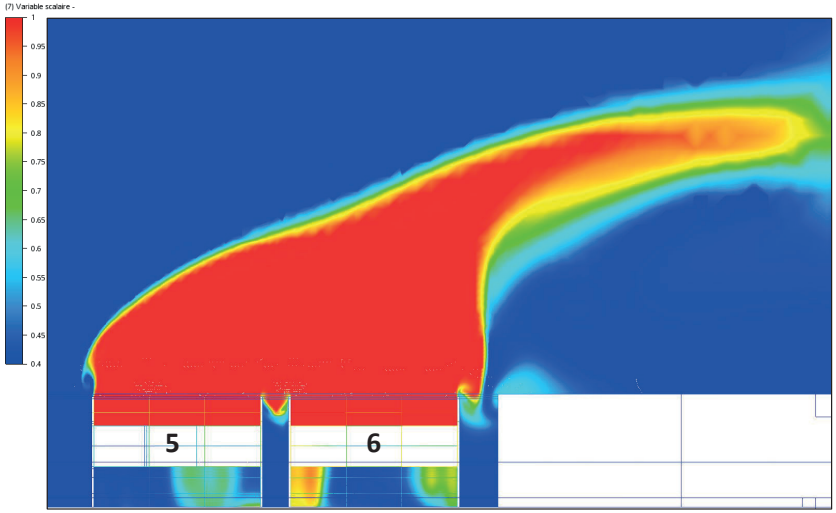


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

Il y a un léger bouclage en humidité, plus présent sur la TAR de droite.

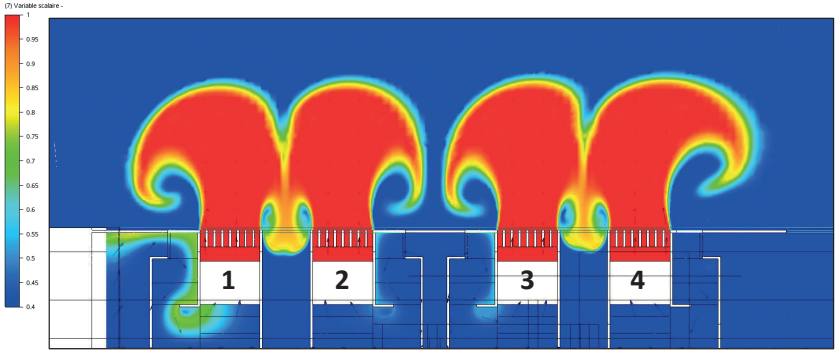


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

Sur la plupart des TAR, les capotages empêchent le bouclage en humidité, sauf sur la TAR située à gauche qui aspire de l'air ayant un taux d'humidité atteignant 65%.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

EOLIOS Ingénierie

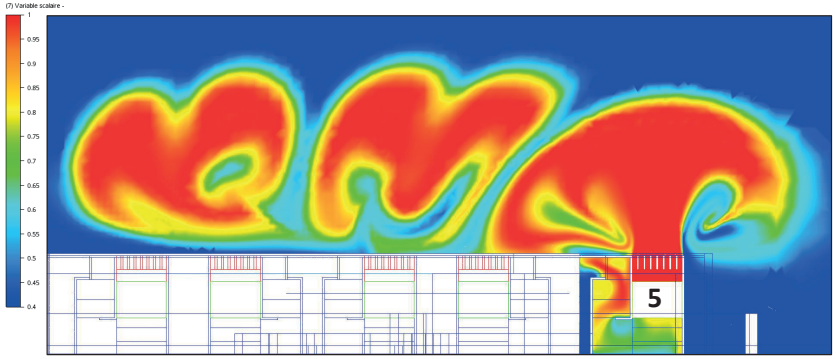


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

Le bouclage en humidité est toujours présent au niveau de la TAR la plus au Nord à cause du manque d'apport d'air dans cette zone.

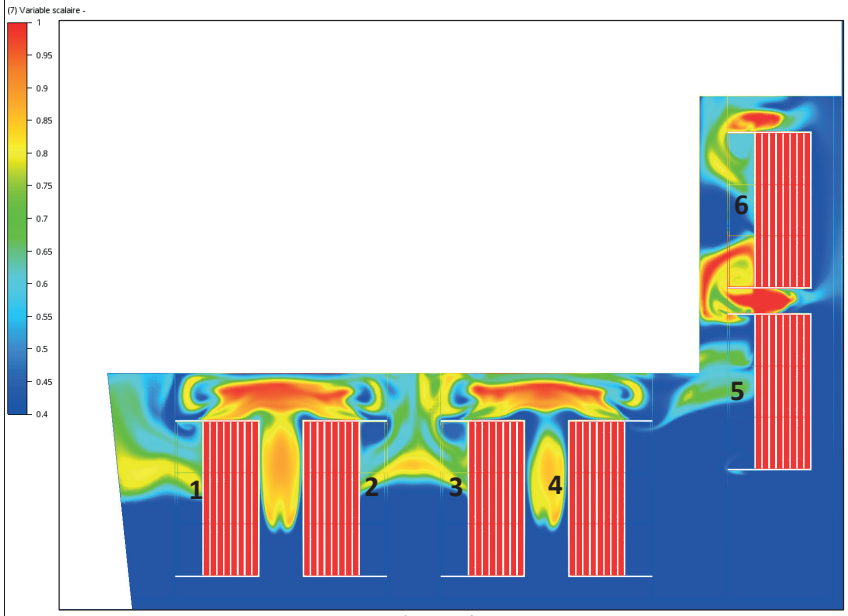


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

Les mêmes phénomènes de bouclage en température se produisent en humidité.

La simulation permet de connaître le taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration de chaque TAR (les TAR sont numérotées comme sur la figure précédente) :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration	49,88%	50,17%	51,36%	40,22%	49,99%	60,51%

Tableau – Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration

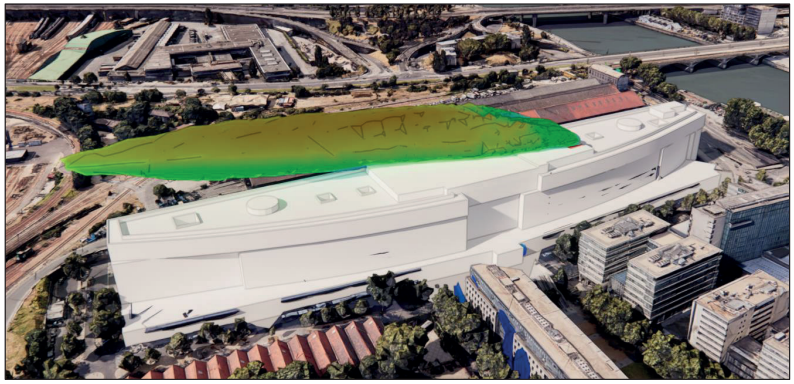


Figure – Isovolume de l'air ayant un taux d'humidité supérieur à 40% - Sud-Ouest – ICPE

L'air rejeté ayant un taux d'humidité supérieur à 40% créée un panache jusqu'à l'extrémité du bâtiment lorsque le vent provient du Sud-Ouest. Le taux d'humidité dans l'air est alors plus élevé sur 240 mètres à partir de la sortie des TAR.
La crèche présente au niveau rez-de-dalle en pied du bâtiment n'est pas impactée.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

6.5. Conclusion de l'étude

La conception avec ventelles, bien que meilleure que la conception initiale, présentait toujours du bouclage, une nouvelle étude a été menée en ajoutant des capotages partiels horizontaux au niveau de l'aspiration des TAR.

Une simulation a été réalisée pour un vent de Sud-Ouest de vitesse 4 m/s, une température extérieure de 32°C et un taux d'humidité de 40% dans l'air conformément aux données fournies. Les résultats de la simulation ont de nouveau mis en lumière un bouclage des TAR sur eux-mêmes, toutefois moins important que dans le cas initial. En effet, les capotages empêchent une partie de l'air rejeté d'être re-aspiré mais le manque d'apport d'air neuf au niveau de l'aspiration des TAR pousse ces dernières à aspirer l'air en partie haute. Cet air présentant une température et un taux d'humidité plus élevés s'engouffre alors par les extrémités ouvertes sous les capotages. **Enfin, pour un vent de Sud-Ouest, l'air rejeté par les TAR présente un taux d'humidité plus élevée que l'air extérieur (40%) sur environ 240 mètres soit la longueur du bâtiment après les TAR.**

A l'aspiration des TAR, voici la température et le taux d'humidité moyen :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Température moyenne au niveau de l'aspiration	32,8°C	33,03°C	33,04°C	32,07°C	32,8°C	33,97°C
Variation par rapport au cas initial	+0,18°C	-1,34°C	-1,41°C	-0,83°C	-1,17°C	-1,38°C

Tableau – Température moyenne au niveau de l'aspiration

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration	49,88%	50,17%	51,36%	40,22%	49,99%	60,51%
Variation par rapport au cas initial	+0,09%	-12,8%	-13,03%	-12,26%	-10,47%	-13,02%

Tableau – Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration

Hormis pour la TAR 1 qui présente une température et un taux d'humidité légèrement supérieurs mais dont les valeurs dans le cas initial étaient déjà satisfaisantes, les températures et taux d'humidité à l'aspiration des TAR sont plus faibles que dans le cas initial. Le bouclage est donc moins important que dans le cas initial.

Toutefois, les bouclages des systèmes sur eux-mêmes entravent le bon fonctionnement des systèmes. En l'état, la conception actuelle des systèmes en toiture du bâtiment ne semble pas fonctionnelle.

7. Résultat de l'étude : capotage total – vent de Sud-Ouest

7.1. Modifications apportées au modèle

Des capotages horizontaux sur l'ensemble des TAR ont été ajoutés.

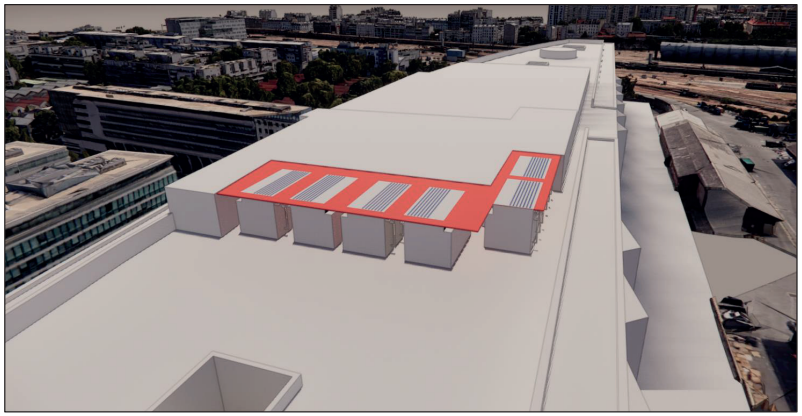


Figure – Modèle 3D avec capotages horizontaux – Ventelles masquées

7.2. Plans de vitesses d'air

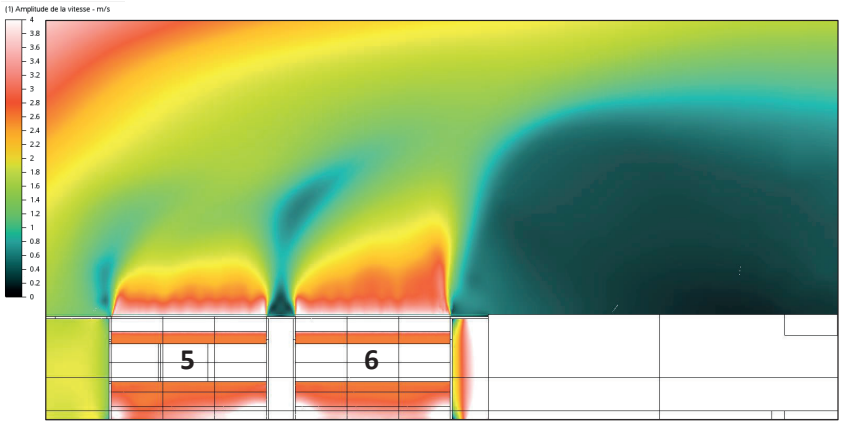


Figure – Coupe des vitesses d'air – Sud-Ouest – ICPE

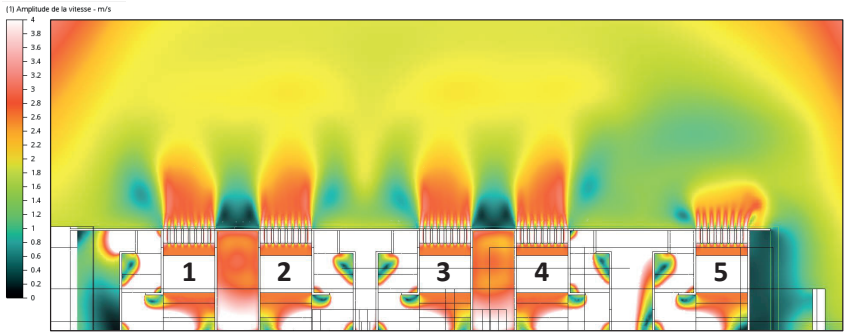


Figure – Coupe des vitesses d'air – Sud-Ouest – ICPE

Les vitesses d'air en sortie de TAR sont moins élevées que dans le cas sans capotages, ce qui témoigne d'un manque d'apport d'air à l'aspiration des TAR, comme pour le cas avec capotages partiels.

7.3. Plans de températures

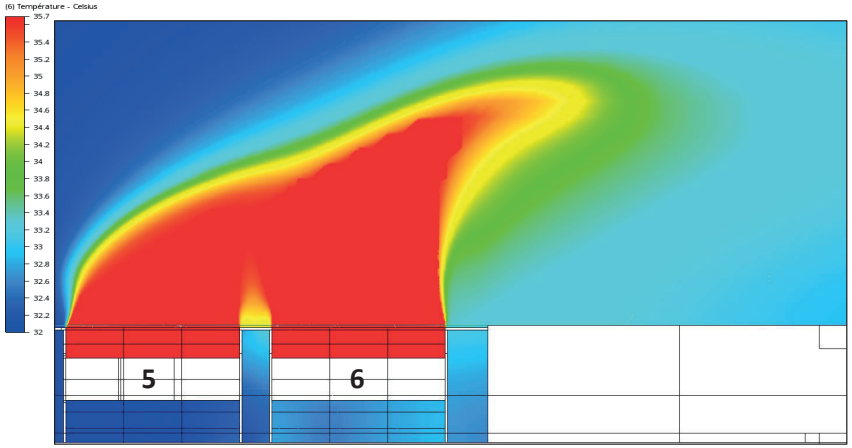


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

La température de rejet de la TAR à droite atteint 36,3°C et la température de l'air aspiré atteint 32,6°C, soit 1,7°C de moins que le cas précédent avec capotages partiels. Cela correspond à une élévation de 0,6°C par rapport à la température de rejet initiale qui témoigne d'un léger bouclage au niveau de cette TAR. Cela témoigne du manque d'apport d'air neuf au niveau de ces 2 TAR, surtout au niveau de celle située à droite.

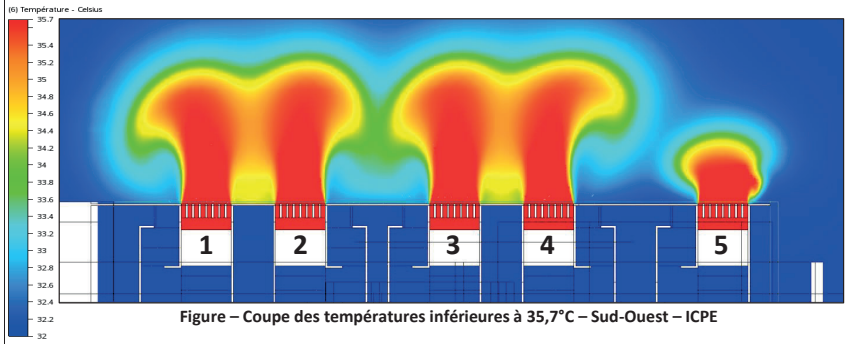


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

Il n'y a aucun bouclage en température, donc aucune élévation de température au niveau de l'aspiration des TAR. La température de rejet est de 35,7°C et la température à l'aspiration est de 32°C.

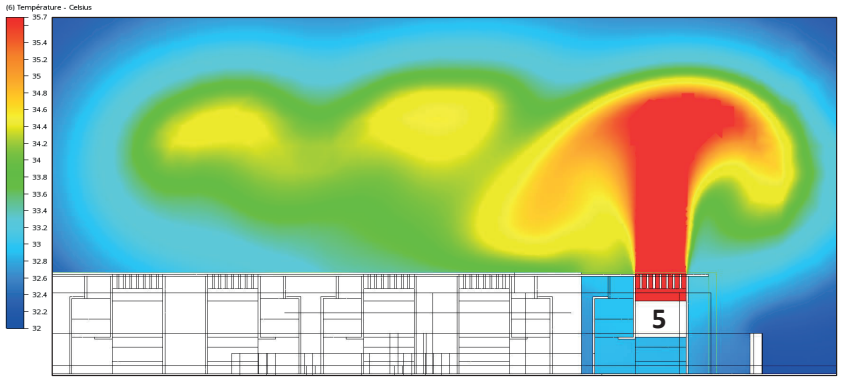


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

La température de rejet de la TAR atteint 36,3°C. La température de l'air repris par la TAR atteint 32,6°C. On en déduit de nouveau le manque d'apport d'air neuf dans cette zone.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

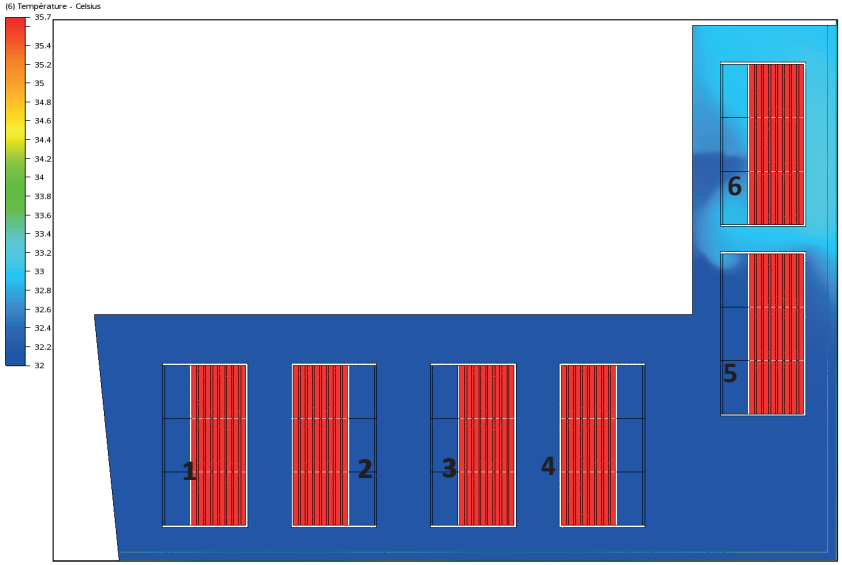


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Sud-Ouest – ICPE

Comme observé précédemment, il y a uniquement un léger bouclage sur la TAR 6 en raison du manque d'apport d'air neuf dans cette zone, à des températures plus faibles que dans le cas précédent (moins de 33,6°C à l'aspiration). Les capotages permettent de réduire considérablement le bouclage pour un vent d'orientation Sud-Ouest.

La simulation permet de connaître la température moyenne au niveau de l'aspiration de chaque TAR (les TAR sont numérotées comme sur la figure précédente) :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Température moyenne au niveau de l'aspiration	32°C	32°C	32°C	32°C	32,04°C	32,55°C

Tableau – Température moyenne au niveau de l'aspiration

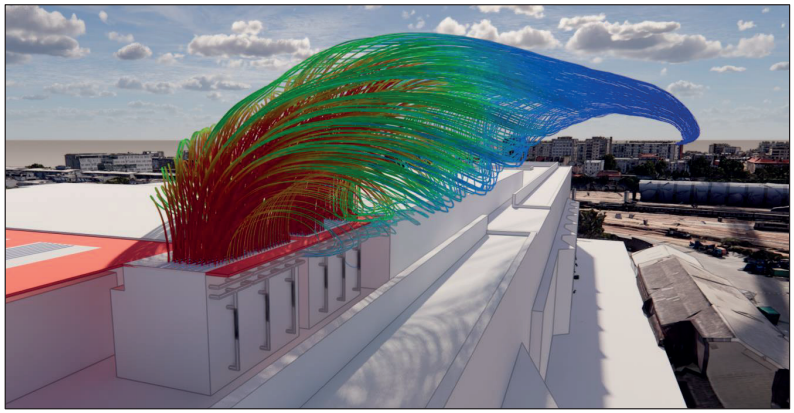


Figure – Traces de courant – ventelles masquées – Sud-Ouest – ICPE

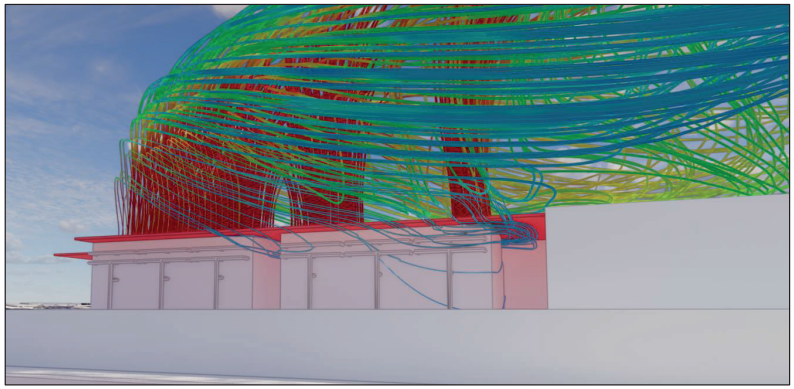


Figure – Traces de courant – ventelles masquées – Sud-Ouest – ICPE

Le bouclage de la TAR 6 est visible sur ces figures de traces de courant. L'air rejeté s'engouffre sous le capotage avant d'être réaspiré.

7.4. Plans d'humidité

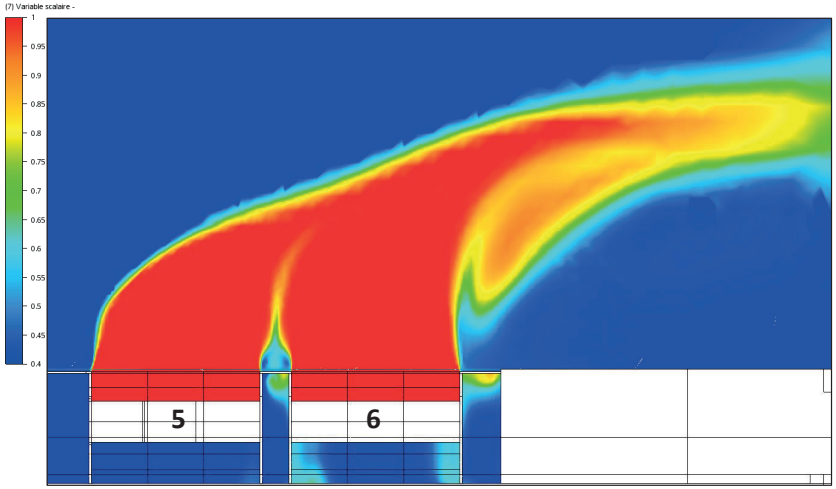


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

Il y a un léger bouclage en humidité, plus présent sur la TAR de droite.

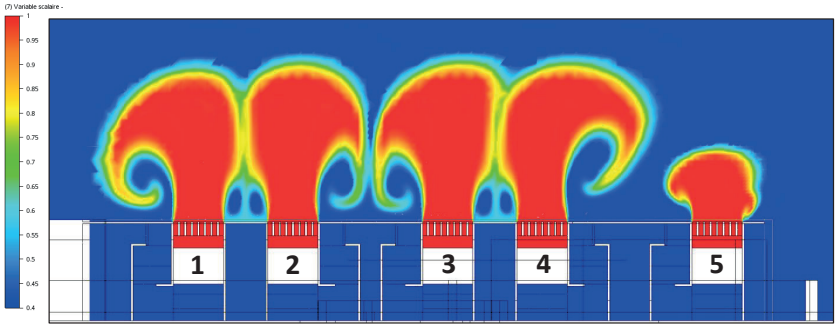


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

Il n'y a aucun bouclage en humidité, le taux d'humidité de l'air aspiré par les TAR est de 40%.

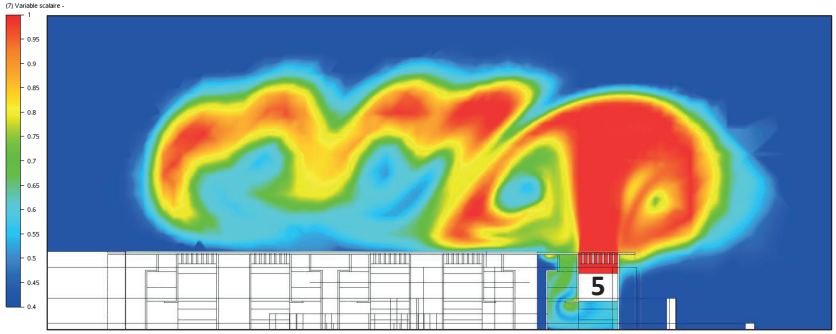


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

Le bouclage en humidité est toujours présent au niveau de la TAR la plus au Nord à cause du manque d'apport d'air neuf dans cette zone. L'air aspiré a au maximum un taux d'humidité de 65%.

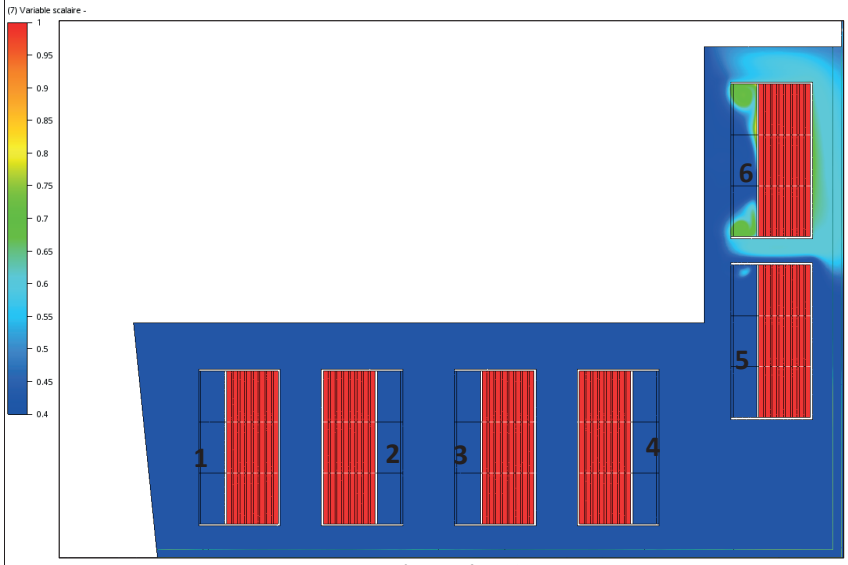


Figure – Coupe d'humidité – Sud-Ouest – ICPE

Le même phénomène de bouclage observé en température se produit en humidité au niveau de la TAR 6.

La simulation permet de connaître le taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration de chaque TAR (les TAR sont numérotées comme sur la figure précédente) :

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration	40%	40%	40%	40%	40,25%	46,14%

Tableau – Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration

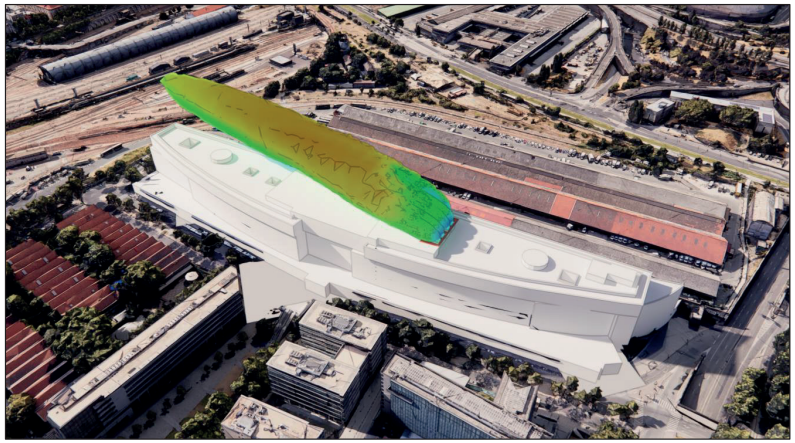


Figure – Isovolume de l'air ayant un taux d'humidité supérieur à 40% - Sud-Ouest – ICPE

L'air rejeté ayant un taux d'humidité supérieur à 40% créée un panache jusqu'à l'extrémité du bâtiment lorsque le vent provient du Sud-Ouest. Le taux d'humidité dans l'air est alors plus élevé sur environ 240 mètres à partir de la sortie des TAR.
La crèche présente au niveau rez-de-dalle en pied du bâtiment n'est pas impactée.

7.5. Conclusion de l'étude

La conception avec capotages partiels, bien que meilleure que la conception initiale, présentait toujours du bouclage, une nouvelle étude a été menée en ajoutant un capotage horizontal total au niveau de l'aspiration des TAR.

Une simulation a été réalisée pour un vent de Sud-Ouest de vitesse 4 m/s, une température extérieure de 32°C et un taux d'humidité de 40% dans l'air conformément aux données fournies. Les résultats de la simulation n'ont révélé aucun bouclage significatif qui serait problématique. En effet, pour un vent de Sud-Ouest, L'air neuf arrive perpendiculairement aux TAR, évacue les rejets des TAR au loin et grâce au capotage, n'est pas re-aspiré. Un bouclage très léger se produit au niveau de la TAR 6 car l'air rejeté par la TAR 5 s'engouffre sous le capotage du côté Est mais cela n'entrave pas le bon fonctionnement de la TAR. En effet, à l'aspiration de cette TAR, la température atteint au maximum 32,6°C et le taux d'humidité 65% très localement. **Enfin, pour un vent de Sud-Ouest, l'air rejeté par les TAR présente un taux d'humidité plus élevée que l'air extérieur (40%) sur environ 240 mètres soit la longueur du bâtiment après les TAR.**

A l'aspiration des TAR, voici la température et le taux d'humidité moyen :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Température moyenne au niveau de l'aspiration	32°C	32°C	32°C	32°C	32,04°C	32,55°C
Variation par rapport au cas initial	-0,62°C	-2,37°C	-2,45°C	-0,9°C	-1,93°C	-2,8°C

Tableau – Température moyenne au niveau de l'aspiration

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration	40%	40%	40%	40%	40,25%	46,14%
Variation par rapport au cas initial	-9,79%	-22,97%	-24,39%	-12,48%	-20,21%	-27,39%

Tableau – Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration

Les températures et taux d'humidité à l'aspiration des TAR sont plus faibles que dans le cas initial, et correspondent aux valeurs de température et de taux d'humidité extérieur, sauf pour les TAR 5 et 6 où l'on note de faibles augmentations. Le bouclage est donc moins important que dans le cas initial.

En l'état, la conception actuelle des systèmes en toiture du bâtiment semble fonctionnelle.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

8. Résultat de l'étude : capotage total – vent de Nord-Est

8.1. Modifications apportées au modèle

Des capotages horizontaux sur l'ensemble des TAR ont été ajoutés.

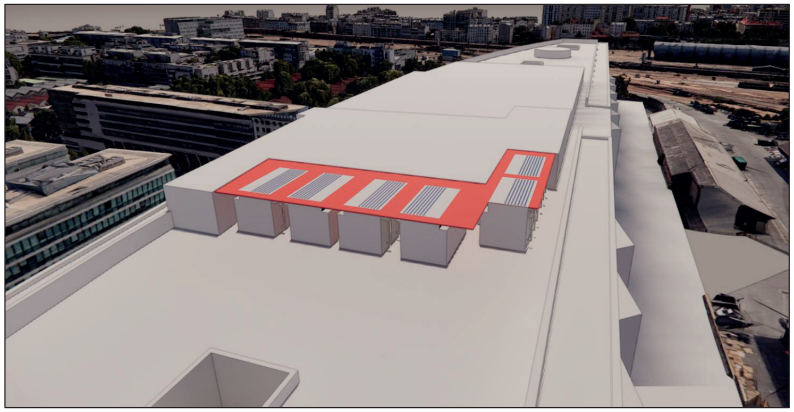


Figure – Modèle 3D avec capotages horizontaux – Ventelles masquées

8.2. Plans de vitesses d'air

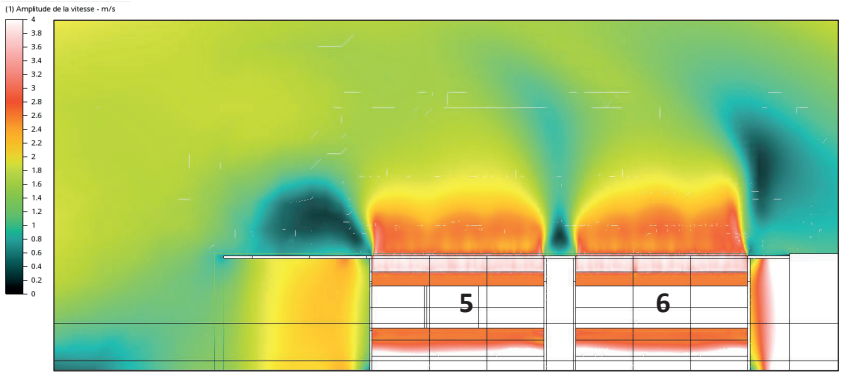


Figure – Coupe des vitesses d'air – Nord-Est – ICPE

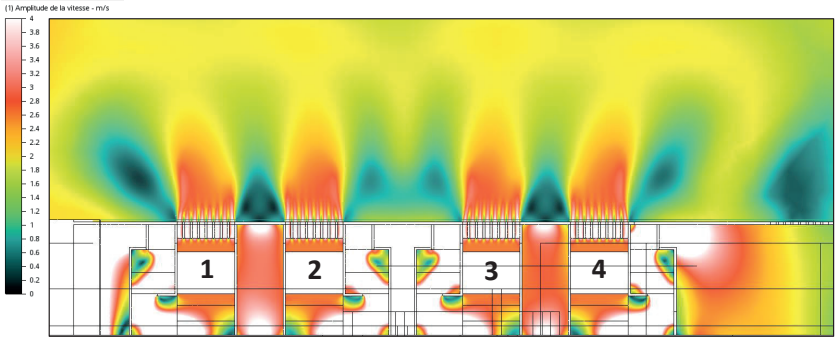


Figure – Coupe des vitesses d'air – Nord-Est – ICPE

Les vitesses d'air en sortie de TAR sont moins élevées que dans le cas sans capotages, ce qui témoigne d'un manque d'apport d'air à l'aspiration des TAR, comme pour le cas avec capotages partiels.

8.3. Plans de températures

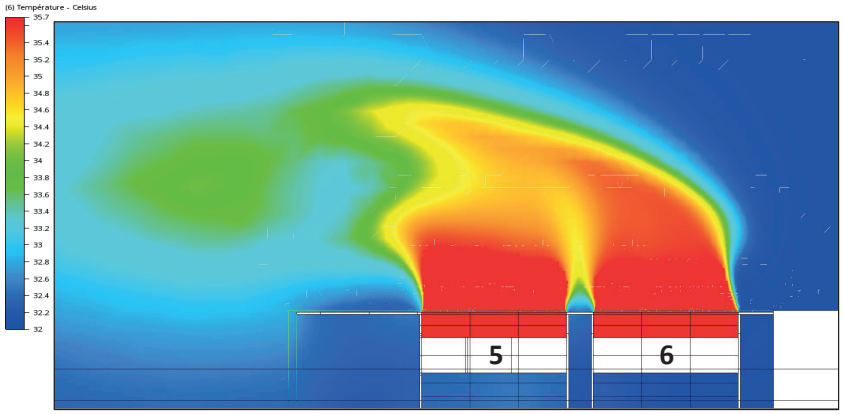


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Nord-Est – ICPE

Il n'y a pas de bouclage notable sur les 2 TAR côté Est, en effet, les ventelles côté Est permettent l'apport d'air neuf pour ces 2 TAR et le capotage empêche le bouclage.

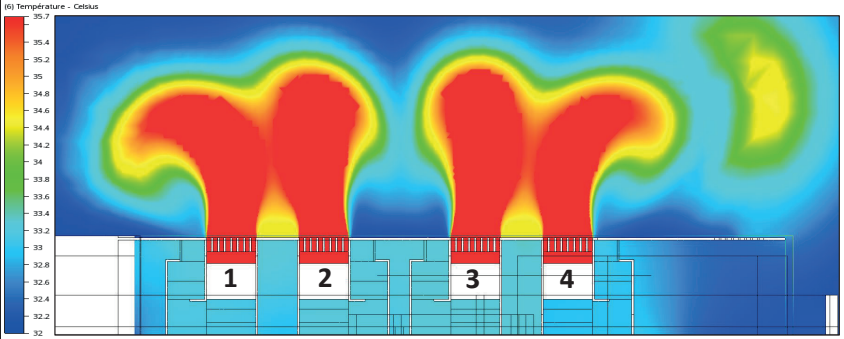


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Nord-Est – ICPE

Il y a un bouclage en température, moins important que dans les cas précédents avec capotages partiels et sans capotages mais tout de même présent. Cela est dû au vent de Nord-Est, qui contrairement au vent de Sud-Ouest n'arrive pas directement perpendiculairement aux TAR , il en résulte un manque d'apport d'air neuf à l'aspiration des TAR et l'air rejeté par ces dernières s'engouffre sous le capotage avant d'être réaspiré. La température de rejet atteint alors ici 36,8°C, et la température de l'air aspiré atteint 33,1°C, soit une élévation de 1,1°C par rapport à la température initiale.

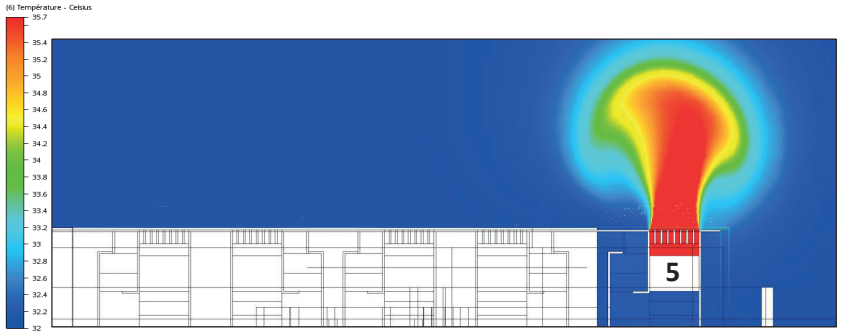


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Nord-Est – ICPE

Il n'y a pas de bouclage sur la TAR la plus au Nord, en effet, pour les 2 TAR à droite, les ventelles côté Est permettent l'apport d'air neuf et le capotage empêche le bouclage.

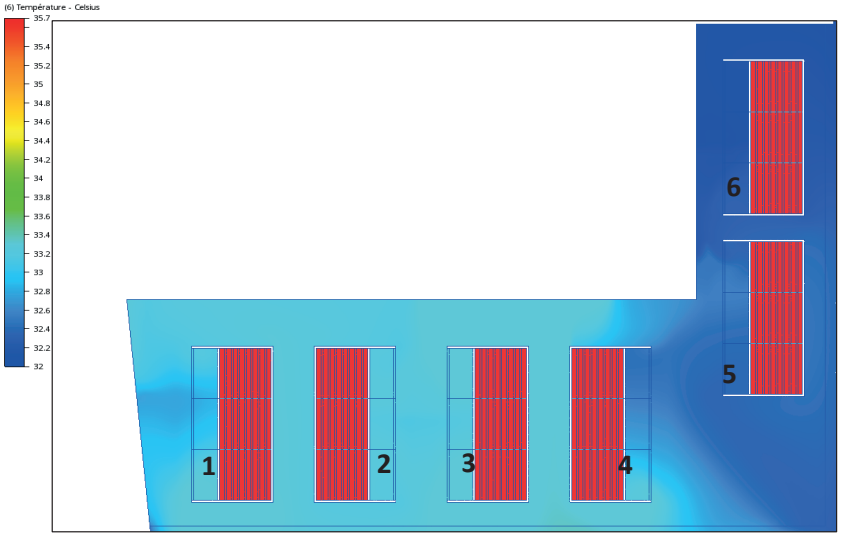


Figure – Coupe des températures inférieures à 35,7°C – Nord-Est – ICPE

Comme observé précédemment, il y a un léger bouclage (élévation de température de 1,1°C au maximum) sur les TAR 1, 2, 3 et très légèrement sur la TAR 4 en raison du manque d'apport d'air neuf dans cette zone située derrière les « locaux » pour un vent de Nord-Est. Comme pour le vent de Sud-Ouest, les capotages permettent de réduire considérablement le bouclage pour un vent d'orientation Nord-Est. Ils sont cependant moins efficaces que pour le vent Sud-Ouest à cause des bâtiments « locaux » qui empêche l'arrivée d'air neuf directement perpendiculairement aux TAR.

La simulation permet de connaître la température moyenne au niveau de l'aspiration de chaque TAR (les TAR sont numérotées comme sur la figure précédente) :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Température moyenne au niveau de l'aspiration	32,87°C	33,06°C	33,13°C	32,58°C	32,34°C	32,08°C

Tableau – Température moyenne au niveau de l'aspiration

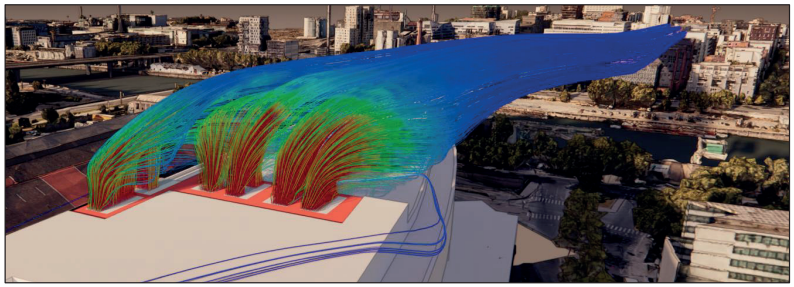


Figure – Traces de courant – ventelles masquées – Nord-Est – ICPE

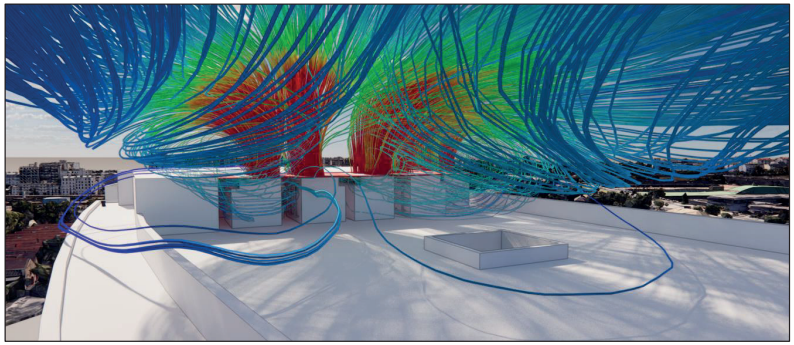


Figure – Traces de courant – ventelles masquées – Nord-Est – ICPE

Le bouclage est visible sur les TAR 1, 2, 3 et 4. Une partie des rejets des TAR dirigés par le vent de Nord-Est redescendent en formant une boucle et s'engouffrent sous le capotage avant d'être réaspirés.

8.4. Plans d'humidité

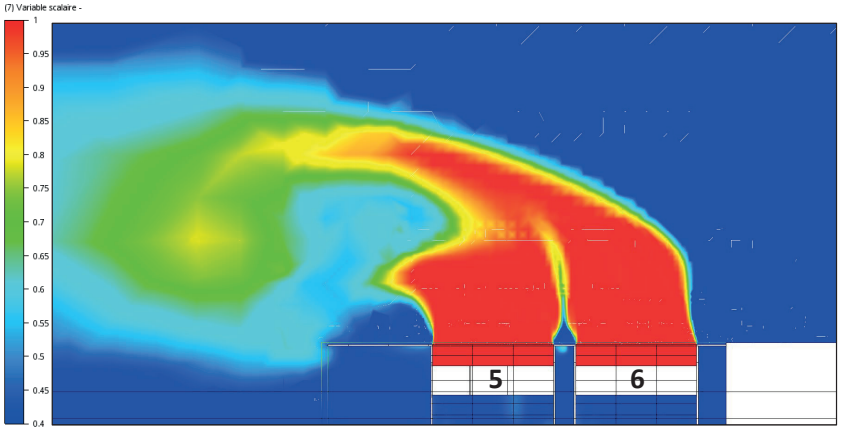


Figure – Coupe d'humidité – Nord-Est– ICPE

De même qu'en température, il n'y a pas de bouclage en humidité sur les 2 TAR côté Est.

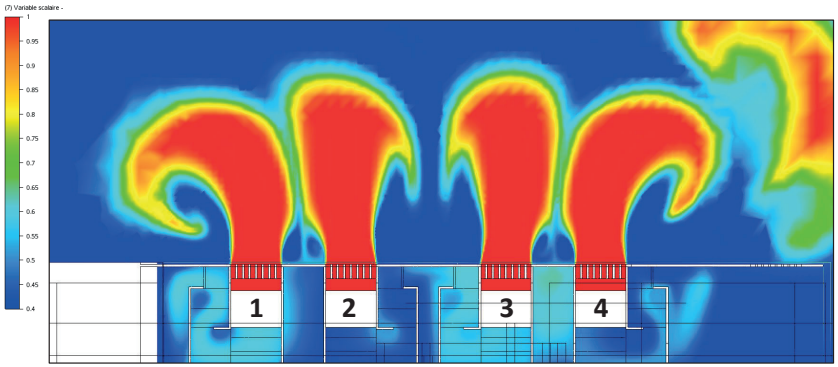


Figure – Coupe d'humidité – Nord-Est – ICPE

Il y a également un léger bouclage en humidité, le taux d'humidité de l'air aspiré par les TAR atteint localement 60%.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

EOLIOS Ingénierie

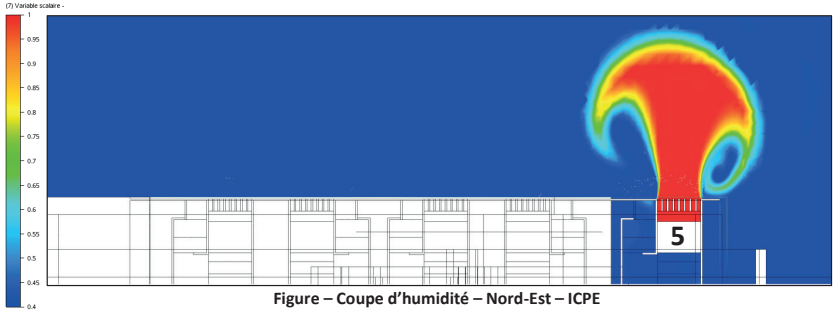


Figure – Coupe d'humidité – Nord-Est – ICPE

Comme en température, il n'y a pas de bouclage en humidité sur le TAR côté Nord.

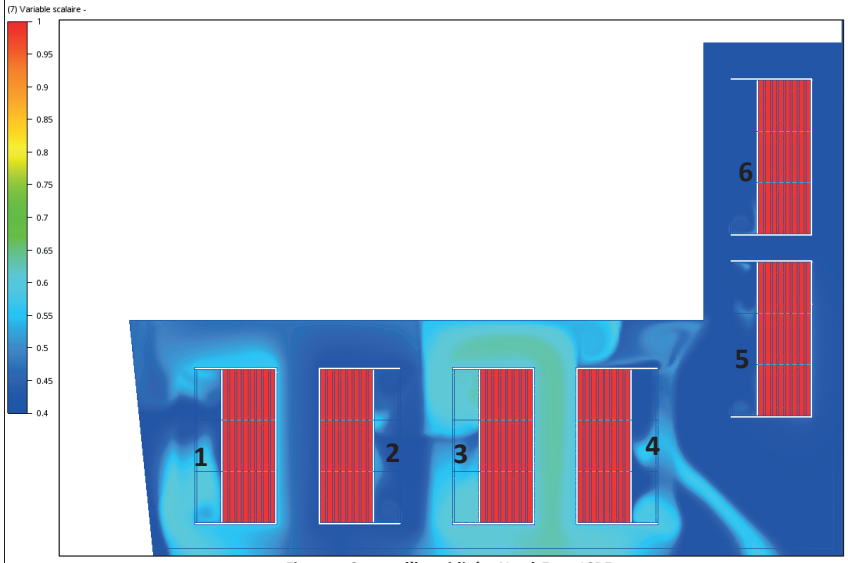


Figure – Coupe d'humidité – Nord-Est – ICPE

Le même phénomène de bouclage observé en température se produit en humidité au niveau des TAR 1, 2, 3 et 4.

La simulation permet de connaître le taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration de chaque TAR (les TAR sont numérotées comme sur la figure précédente) :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration	48,2%	43,73%	54,56%	44,68%	41,26%	40,27%

Tableau – Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration

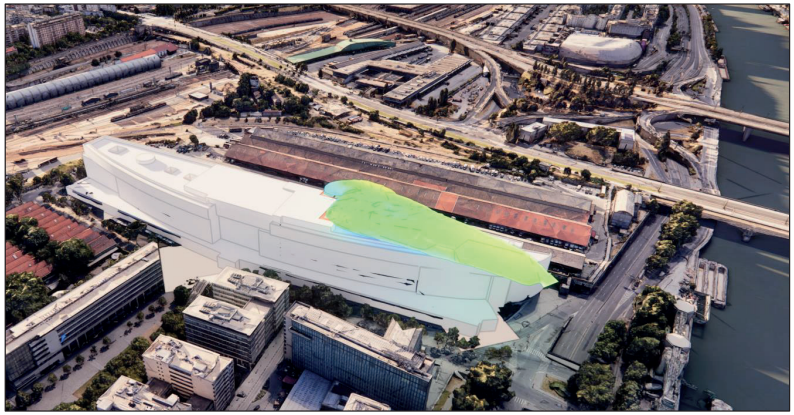


Figure – Isovolume de l'air ayant un taux d'humidité supérieur à 40% - Nord-Est – ICPE

L'air rejeté ayant un taux d'humidité supérieur à 40% créée un panache jusqu'à l'extrémité du bâtiment lorsque le vent provient du Nord-Est. Le taux d'humidité dans l'air est alors plus élevé sur environ 190 mètres à partir de la sortie des TAR.
La crèche présente au niveau rez-de-dalle en pied du bâtiment n'est pas impactée.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

8.5. Conclusion de l'étude

La conception avec capotage total apporte des résultats satisfaisant pour un vent de Sud-Ouest, mais la présence des bâtiments « locaux » proche des TAR soulève la question pour un vent de Nord-Est, bien que moins fréquent sur le site.

Une simulation a été réalisée pour un vent de Nord-Est de vitesse 4 m/s, une température extérieure de 32°C et un taux d'humidité de 40% dans l'air conformément aux données fournies. Les résultats de la simulation ont révélé un léger bouclage sur les TAR 1 à 4. En effet, pour un vent de Nord-Est, l'apport d'air neuf est limité pour ces TAR car les bâtiments « locaux » empêche l'arrivée de l'air perpendiculairement aux TAR. Les TAR 5 et 6 sont moins exposées au bouclage car l'ouverture côté Est permet l'arrivée d'air neuf. Un bouclage léger se produit au niveau des TAR 1 à 4 car l'air rejeté par ces TAR s'engouffre par l'extrémité ouverte du côté Sud sous le capotage. Ce bouclage n'est toutefois pas problématique, en effet, à l'aspiration de ces TAR, la température atteint au maximum 33,1°C et le taux d'humidité 60% localement. **Enfin, pour un vent de Nord-Est, l'air rejeté par les TAR présente un taux d'humidité plus élevée que l'air extérieur (40%) sur environ 190 mètres soit la longueur du bâtiment après les TAR.**

A l'aspiration des TAR, voici la température et le taux d'humidité moyen :

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Température moyenne au niveau de l'aspiration	32,87°C	33,06°C	33,13°C	32,58°C	32,34°C	32,08°C
Variation par rapport au cas initial	+0,25°C	-1,31°C	-1,32°C	-0,32°C	-1,63°C	-3,27°C

Tableau – Température moyenne au niveau de l'aspiration

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration	48,2%	43,73%	54,56%	44,68%	41,26%	40,27%
Variation par rapport au cas initial	-1,59%	-19,24%	-9,83%	-7,8%	-19,2%	-33,26%

Tableau – Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration

Hormis pour la TAR 1 qui présente une température légèrement supérieure mais dont la valeur est tout de même satisfaisante, les températures et taux d'humidité à l'aspiration des TAR sont plus faibles que dans le cas initial.

En l'état, la conception actuelle des systèmes en toiture du bâtiment semble fonctionnelle.

9. Conclusion globale

L'objectif de cette étude est d'analyser les rejets de 6 TAR placées en toiture du bâtiment LUMIERE. Les TAR rejettent de l'air avec un taux d'humidité de 100% à une température initiale de 35,7°C. Des simulations ont été menées pour un vent de Sud-Ouest de vitesse 4 m/s, une température extérieure de 32°C et un taux d'humidité de 40% dans l'air conformément aux données fournies.

9.1. Résumé des conclusions de chaque étude sur le bouclage

Les simulations sur la conception initiale ont révélé un bouclage sur l'ensemble des TAR (cf **§4**). Ce phénomène est d'autant plus présent pour les TAR dont l'aspiration est face à l'aspiration de la TAR voisine (2 et 3) ou de masques aérauliques comme les murs (5 et 6). En effet, ces installations entrainent une réduction de l'apport d'air neuf à une température de 32°C et un taux d'humidité de 40%. De ce fait, les TAR ont tendance à aspirer l'air en partie haute présentant une température et un taux d'humidité plus élevés (température allant jusqu'à 36°C et taux d'humidité atteignant 95% à l'aspiration des TAR).

Une conception avec ventelles à la place du mur en périphérie des TAR a alors été étudiée (cf **§5**). Les résultats de la simulation ont de nouveau mis en lumière un bouclage des TAR sur eux-mêmes, toutefois moins important que dans le cas initial. L'apport d'air neuf a donc été augmenté grâce aux ventelles périphériques mais pas suffisamment pour empêcher le bouclage. De ce fait, les TAR ont tendance à aspirer l'air en partie haute présentant une température et un taux d'humidité plus élevés (température allant jusqu'à 34,8°C et taux d'humidité atteignant 85% à l'aspiration des TAR).

L'ajout de capotages partiels horizontaux a alors été étudié (cf **§6**). Les résultats de la simulation ont de nouveau mis en lumière un bouclage des TAR sur eux-mêmes, toutefois moins important que dans le cas initial. En effet, les capotages empêchent une partie de l'air rejeté d'être re-aspiré mais le manque d'apport d'air neuf au niveau de l'aspiration des TAR pousse ces dernières à aspirer l'air en partie haute. Cet air présentant une température et un taux d'humidité plus élevés s'engouffre alors par les extrémités ouvertes sous les capotages.

Une conception avec un capotage horizontal total a alors été étudiée (cf **§7**). Les résultats de la simulation n'ont révélé aucun bouclage significatif qui serait problématique. En effet, pour un vent de Sud-Ouest, L'air neuf arrive perpendiculairement aux TAR, évacue les rejets des TAR au loin et grâce au capotage, n'est pas re-aspiré. Un bouclage très léger se produit au niveau de la TAR 6 car l'air rejeté par la TAR 5 s'engouffre sous le capotage du côté Est mais cela n'entrave pas le bon fonctionnement de la TAR. En effet, à l'aspiration de cette TAR, la température atteint au maximum 32,6°C et le taux d'humidité 65% très localement.

Cette conception soulevait toutefois la question du bon fonctionnement des systèmes pour un vent de Nord-Est, une simulation a alors été menée (cf **§8**). Les résultats de la simulation ont révélé un léger bouclage sur les TAR 1 à 4. En effet, pour un vent de Nord-Est, l'apport d'air neuf est limité pour ces TAR car les bâtiments « locaux » empêche l'arrivée de l'air perpendiculairement aux TAR. Les TAR 5 et 6 sont moins exposées au bouclage car l'ouverture côté Est permet l'arrivée d'air neuf. Un bouclage léger se produit au niveau des TAR 1 à 4 car l'air rejeté par ces TAR s'engouffre par l'extrémité ouverte du côté Sud sous le capotage. Ce bouclage n'est toutefois pas problématique, en effet, à l'aspiration de ces TAR, la température atteint au maximum 33,1°C et le taux d'humidité 60% localement.

En l'état, la conception avec capotage total est fonctionnelle.

Étude CFD – LUMIERE – Paris		EOLIOS
thibaut.degorre@eolios.fr	Étude Thermo Aéraulique	VD/MD
23.062		06/02/2024

EOLIOS Ingénierie

9.2. Tableaux récapitulatifs des températures et taux d'humidité de l'air de reprise

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Cas initial	32,62°C	34,37°C	34,45°C	32,9°C	33,97°C	35,35°C
Ventelles périphériques	32,4°C	33,74°C	33,74°C	32,32°C	33,23°C	34,6°C
Capotages partiels	32,8°C	33,03°C	33,04°C	32,07°C	32,8°C	33,97°C
Capotage total – Sud-Ouest	32°C	32°C	32°C	32°C	32,04°C	32,55°C
Capotage total – Nord-Est	32,87°C	33,06°C	33,13°C	32,58°C	32,34°C	32,08°C

Tableau – Température moyenne au niveau de l'aspiration

	TAR 1	TAR 2	TAR 3	TAR 4	TAR 5	TAR 6
Cas initial	49,79%	62,97%	64,39%	52,48%	60,46%	73,53%
Ventelles périphériques	45,77%	58,78%	59,66%	44,20%	55,06%	70,29%
Capotages partiels	49,88%	50,17%	51,36%	40,22%	49,99%	60,51%
Capotage total – Sud-Ouest	40%	40%	40%	40%	40,25%	46,14%
Capotage total – Nord-Est	48,20%	43,73%	54,56%	44,68%	41,26%	40,27%

Tableau – Taux d'humidité moyen de l'air au niveau de l'aspiration

Dans le cas initial, les TAR 2, 3, 5 et 6 présentent un bouclage important et donc des températures et taux d'humidité de l'air plus élevées, les TAR 1 et 4 présentent des températures et taux d'humidité acceptables. Pour ces 2 TAR, toutes les conceptions assurent des valeurs satisfaisantes. Seules les conceptions avec capotage total présentent des valeurs satisfaisantes pour l'ensemble des 4 autres TAR, le scénario avec un vent de Sud-Ouest est logiquement le plus favorable. Les conceptions avec ventelles et capotages partiels permettent de réduire le bouclage et donc la température et le taux d'humidité de l'air au niveau de l'aspiration des TAR, mais pas suffisamment pour atteindre des valeurs acceptables sur toutes les TAR, notamment sur la TAR 6.

9.3. Conclusion sur le taux d'humidité relatif dans l'air

Les simulations ont mis en évidence un panache d'air ayant un taux d'humidité plus élevé que l'air extérieur dans la longueur du bâtiment sur environ 240 mètres pour un vent de Sud-Ouest (et ce peu importe le scénario étudié), et environ 190 mètres pour un vent de Nord-Est. Dans les 2 cas de vent dominant, la dissipation de l'air humide rejeté par les TAR ne semble pas perturber les bâtiments alentours.

La conception du bâtiment et l'emplacement des TAR sont donc fonctionnels.

La crèche présente au niveau rez-de-dalle en pied du bâtiment n'est pas impactée.