

Retour d'expérience Ventilation naturelle avec récupération de chaleur (VNRC)

Bâtiments scolaires à Rosny-sous-bois (93)



Déroulé présentation

1. Approche théorique énergétique : VN vs. VMC double flux
2. Bilan de matière sur les conduits
3. Présentation et objectifs de la conception du système VNRC
4. Retours d'expériences et enseignements, mis en lumière par le projet de recherche BATRESP

Acteurs

DRI : Direction de l'innovation Territoriale de la Ville de Rosny-sous-bois (93)

Cellule de recherche action tournée vers la transition écologique du territoire, travaillant en tant que maîtrise d'œuvre interne

Switch : Bureau d'études environnement / CVC basé à Pantin (93)



DRI / Rosny-sous-bois (93)



6 projets Paille/Bois/Terre dont 5 en Ventilation naturelle Double Flux

Paille en
caissons.



Groupe scolaire
Les Boutours 1
2000 m²
2012-2014

Paille en caissons, entre
montants et porteuse.



Groupe scolaire
Les Boutours 2
2000 m²
2015-2017

Paille porteuse,
structure hybride R+1



Centre de loisirs
Jacques Chirac
1000 m²
2018-2020

6 projets Paille/Bois/Terre dont 5 en Ventilation naturelle Double Flux

Paille en caissons
préfabriqués enduits.



Groupe scolaire
Simone Veil
4000 m²
2019-2021

Paille autoportreuse
en manteau.



Groupe scolaire
Mermoz
4000 m²
Livraison 2023

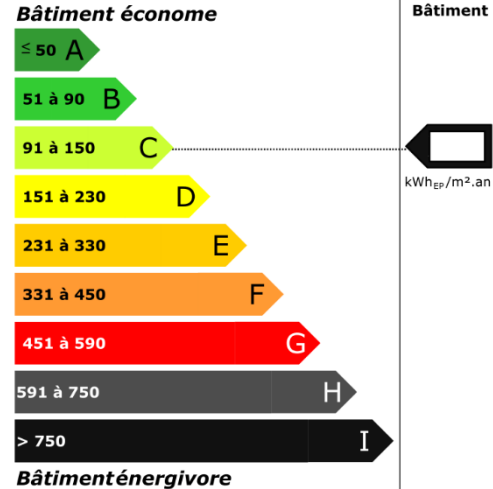
Réhabilitation
Isolation paille fondée



Groupe scolaire
Bois Perrier
1500 m²
En études

1. Pourquoi la VN?

Ligne de crête : Low tech <> performance énergétique





Energie mécanique pour le transfert de l'air

Echelles de consommations spécifiques par ventilateur

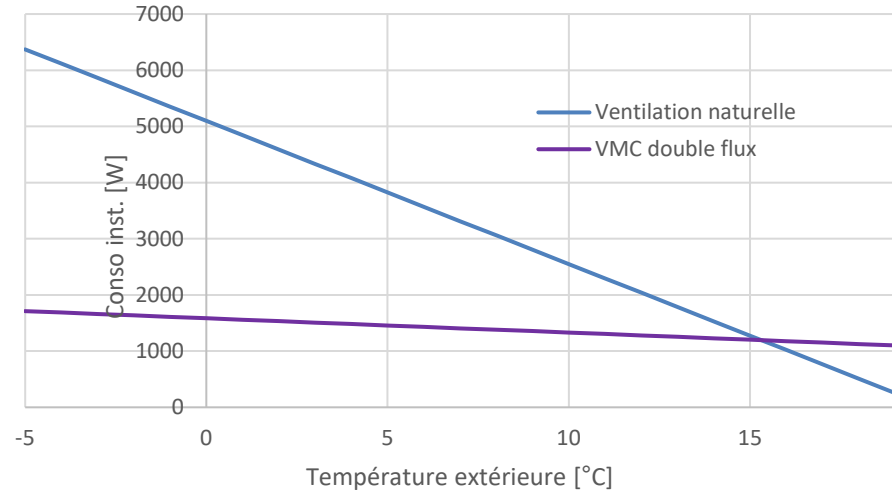
- Minimum : 0,4 - 0,5 kW/(m³/s) - « Silent School » de France air (pas de réseau)
- Installations classiques avec ventilateurs basse consommation : 1 – 1,5 kW/(m³/s)
- Installations peu optimisées > 2,5 kW/(m³/s)

Bilan énergétique théorique

Efficacité thermique <> Consommations ventilateurs

- Comparaison ventilation naturelle / double flux mécanique sur la consommation énergétique globale (thermique + électricité)
 - $\eta = 90\%$
 - SFP = 1 kW/m³ par ventilateur
- Base de 30 personnes @ 25 m³/h par personne > 750 m³/h au global
- Coefficient de conversion $E_f > E_p$:
 - Chaleur : 1
 - Electricité : 2,58

Consommation instantanée (énergie primaire)

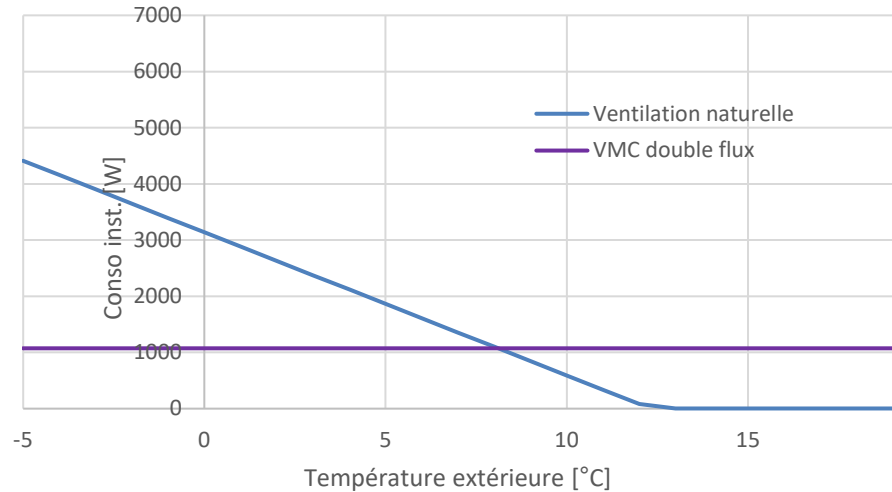


Bilan énergétique théorique

Efficacité thermique <> Consommations ventilateurs

- Comparaison ventilation naturelle / double flux mécanique sur la consommation énergétique globale (thermique + électricité)
 - $\eta = 90\%$
 - SFP = 1 kW/m³ par ventilateur
- Base de 30 personnes @ 25 m³/h par personne > 750 m³/h au global
- Coefficient de conversion $E_f > E_p$:
 - Chaleur : 1
 - Electricité : 2,58
- Prise en compte du dégagement de chaleur sensible des occupants dans le bilan thermique: 70 W/pers

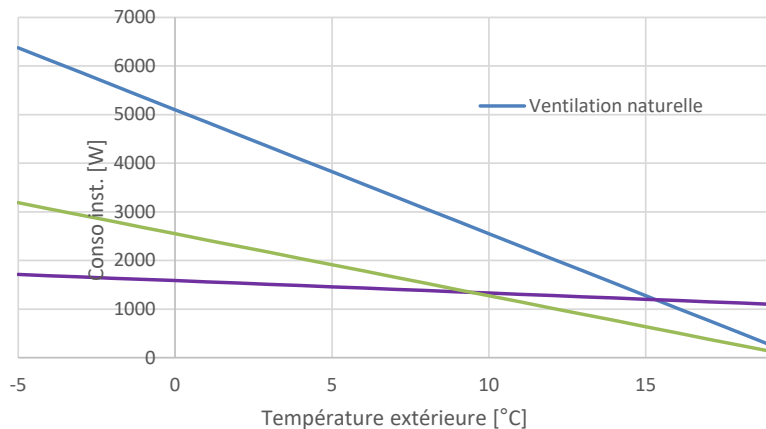
Consommation instantanée (énergie primaire)



Bilan énergétique théorique

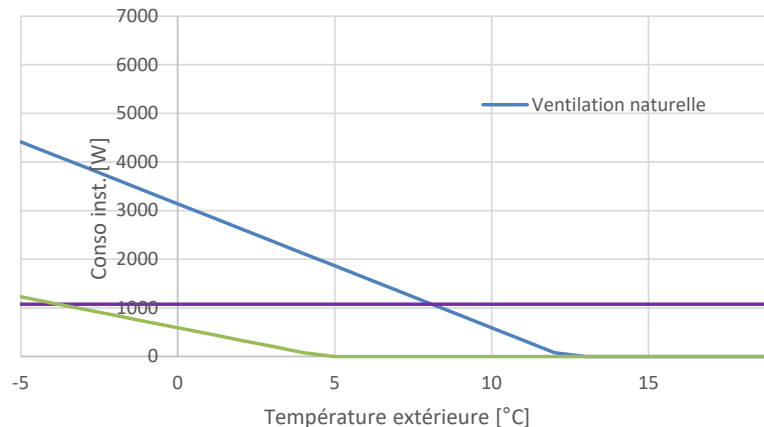
Si on parvient à 50% d'efficacité sur la récupération de chaleur...

Consommation instantanée (énergie primaire)



*SANS pris en compte du dégagement de chaleur
des occupants*

Consommation instantanée (énergie primaire)



*AVEC pris en compte du dégagement de chaleur
des occupants*

Bilan énergétique théorique

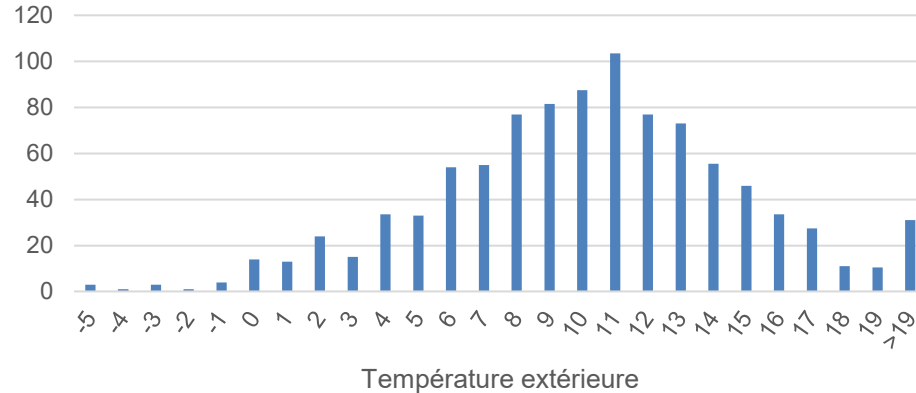
Bilan annuel global dépend de l'occupation + du climat

Exemple pour une salle de classe à Paris (prise en compte des vacances scolaires):

Profil débit

00:00	0%
01:00	0%
02:00	0%
03:00	0%
04:00	0%
05:00	0%
06:00	0%
07:00	0%
08:00	100%
09:00	100%
10:00	100%
11:00	100%
12:00	0%
13:00	50%
14:00	100%
15:00	100%
16:00	100%
17:00	50%
18:00	0%
19:00	0%
20:00	0%
21:00	0%
22:00	0%
23:00	0%

Nombre d'heures d'occupation pendant la période de chauffe



Bilan énergétique théorique

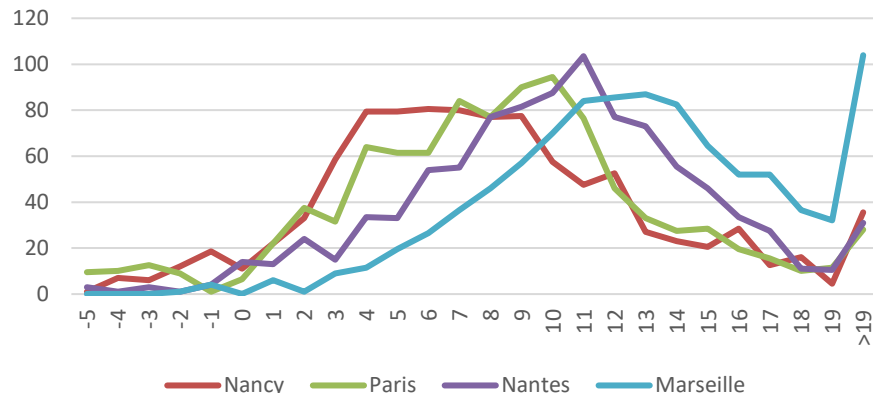
Bilan annuel global dépend de l'occupation + du climat

Pour différents climats en France métropolitaine:

Profil débit

00:00	0%
01:00	0%
02:00	0%
03:00	0%
04:00	0%
05:00	0%
06:00	0%
07:00	0%
08:00	100%
09:00	100%
10:00	100%
11:00	100%
12:00	0%
13:00	50%
14:00	100%
15:00	100%
16:00	100%
17:00	50%
18:00	0%
19:00	0%
20:00	0%
21:00	0%
22:00	0%
23:00	0%

Nombre d'heures d'occupation pendant la période de chauffe



Bilan énergétique théorique

Résultats – **SANS** pris en compte du dégagement de chaleur des occupants

Ventilation naturelle sans récupération de chaleur:

Consommations théoriques annuelles [kWhEp]

	Nancy	Paris	Nantes	Marseille
VNRC	2973	2869	2437	1767
VM 2xF	1896	1885	1842	1775

Consommations ramenées à la surface [kWhEp/m²] - hypothèse classe de 60m²

VNRC	49,5	47,8	40,6	29,4
VM 2xF	31,6	31,4	30,7	29,6

Ventilation naturelle avec récupération de chaleur:

Consommations théoriques annuelles [kWhEp]

	Nancy	Paris	Nantes	Marseille
VNRC	1486	1435	1218	883
VM 2xF	1896	1885	1842	1775

Consommations ramenées à la surface [kWhEp/m²] - hypothèse classe de 60m²

VNRC	24,8	23,9	20,3	14,7
VM 2xF	31,6	31,4	30,7	29,6

Bilan énergétique théorique

Résultats – AVEC pris en compte du dégagement de chaleur des occupants

Ventilation naturelle sans récupération de chaleur:

Consommations théoriques annuelles [kWhEp]

	Nancy	Paris	Nantes	Marseille
VNRC	1137	1026	676	328
VM 2xF	1599	1599	1599	1599

Consommations ramenées à la surface [kWhEp/m²] - hypothèse classe de 60m²

	Nancy	Paris	Nantes	Marseille
VNRC	19,0	17,1	11,3	5,5
VM 2xF	26,6	26,6	26,6	26,6

Ventilation naturelle avec récupération de chaleur:

Consommations théoriques annuelles [kWhEp]

	Nancy	Paris	Nantes	Marseille
VNRC	54	57	26	6
VM 2xF	1599	1599	1599	1599

Consommations ramenées à la surface [kWhEp/m²] - hypothèse classe de 60m²

	Nancy	Paris	Nantes	Marseille
VNRC	0,9	0,9	0,4	0,1
VM 2xF	26,6	26,6	26,6	26,6

Bilan énergétique théorique

Bien sûr ces résultats sont théoriques:

- Qualité de la mise en œuvre
- Mise en place d'un préchauffage de l'air neuf
- Régulation: robots ou humains (gestion des sur-débits...)
- Interactions avec l'étanchéité à l'air
- Etc...

Questionnements ACV – impact des conduits

Comparaison du bilan en énergie grise pour :

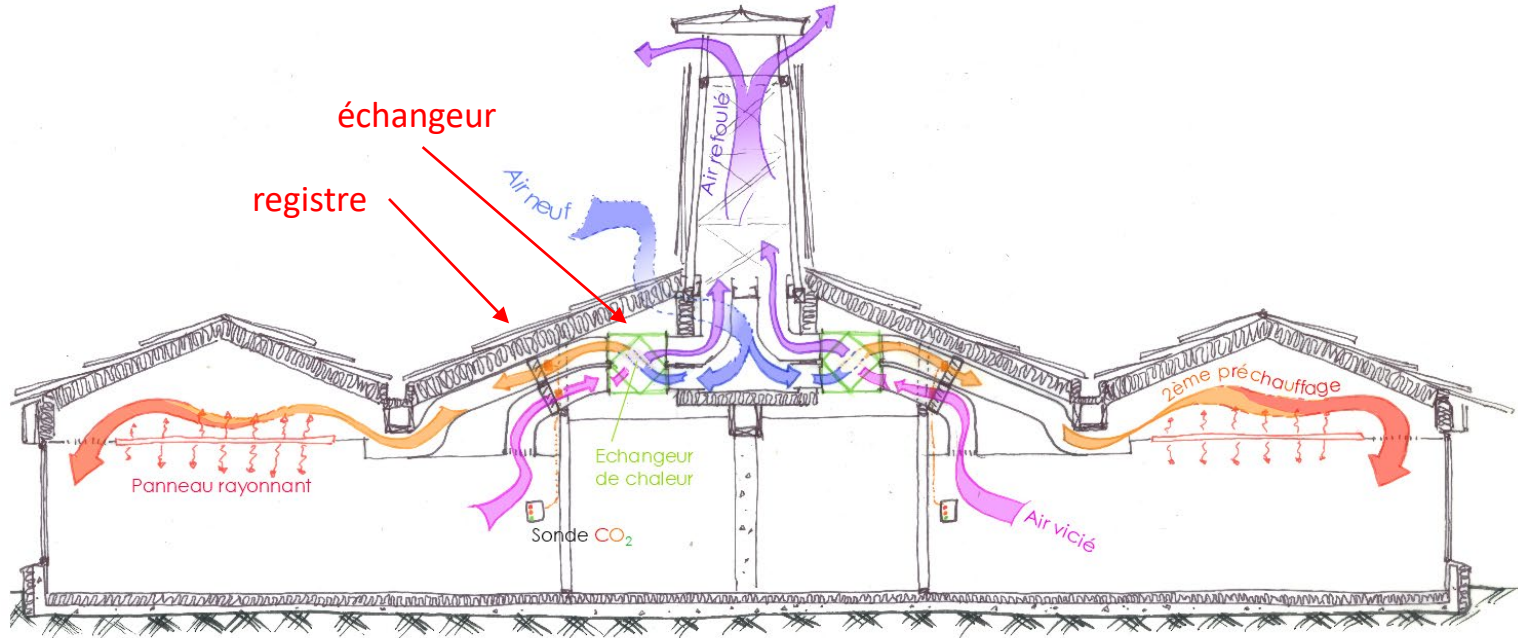
- 1 m de conduit circulaire en acier galvanisé en DN160 transportant 360 m³/h @ 5m/s
- 1 m de conduit rectangulaire en plaques de plâtre/Fermacell transportant 360 m³/h @ 0.5m/s (section 45 x 45 cm)

supportages conduit VMC et ossature conduit VN négligés

Résultats: écart relatif pour 1m de conduit pour (référence VMC)

	Eprimaire totale non ren.	Réchauffement climatique
Conduits rigides acier [DN = 160mm] - DONNEE ENVIRONNEMENTALE PAR DEFAUT <i>contre</i> : Plaque fibres-gypse fermacell 12.5 mm	15%	-26%
Conduit métallique circulaire (Uniclima) <i>contre</i> : Plaque fibres-gypse fermacell 12.5 mm	-74%	-91%
Conduits rigides acier [DN = 160mm] - DONNEE ENVIRONNEMENTALE PAR DEFAUT <i>contre</i> : Plaque de plâtre Placoplatre® BA13 (v.1.3)	-66%	-79%
Conduit métallique circulaire (Uniclima) <i>contre</i> : Plaque de plâtre Placoplatre® BA13 (v.1.3)	-92%	-97%

Présentation du système – école maternelle des Boutours



Présentation du système – école maternelle des Boutours



Présentation du système – école maternelle des Boutours





Présentation du système – école maternelle des Boutours

Objectifs du dimensionnement :

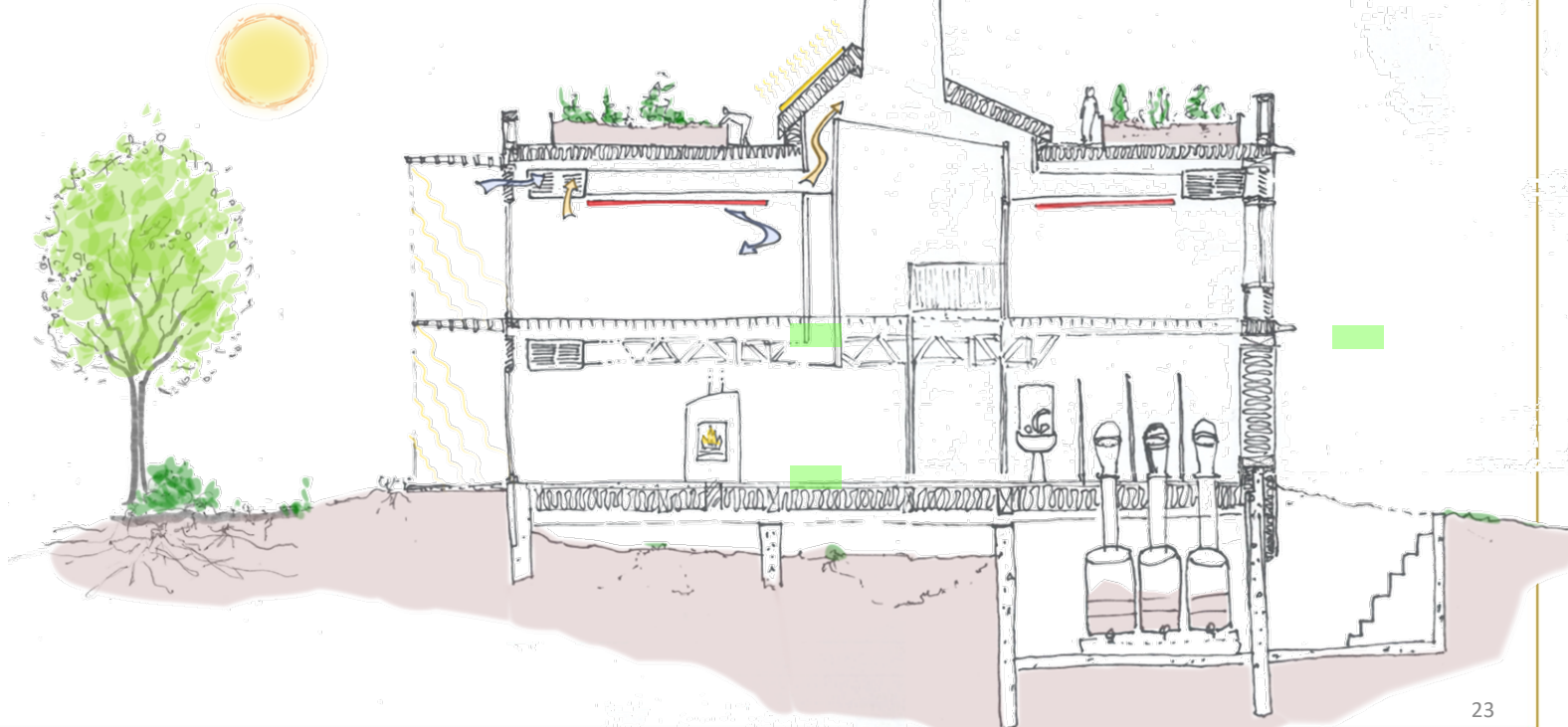
- 750 m³/h par classe
- efficacité théorique de l'échangeur : 50%
- Moteur thermique suffisant jusque 12°C extérieur
- Moteur éolien en complément
- >> Débits non garantis en continu
- Objectif: ICONE inférieur ou égal à 2

Etudes en deux étapes:

- Pré-dimensionnement statique (application des formules de l'AM10) sur la base du tirage thermique seul
- Simulation thermique dynamique permettant d'appréhender le fonctionnement de manière plus global (tirage thermique + par le vent)

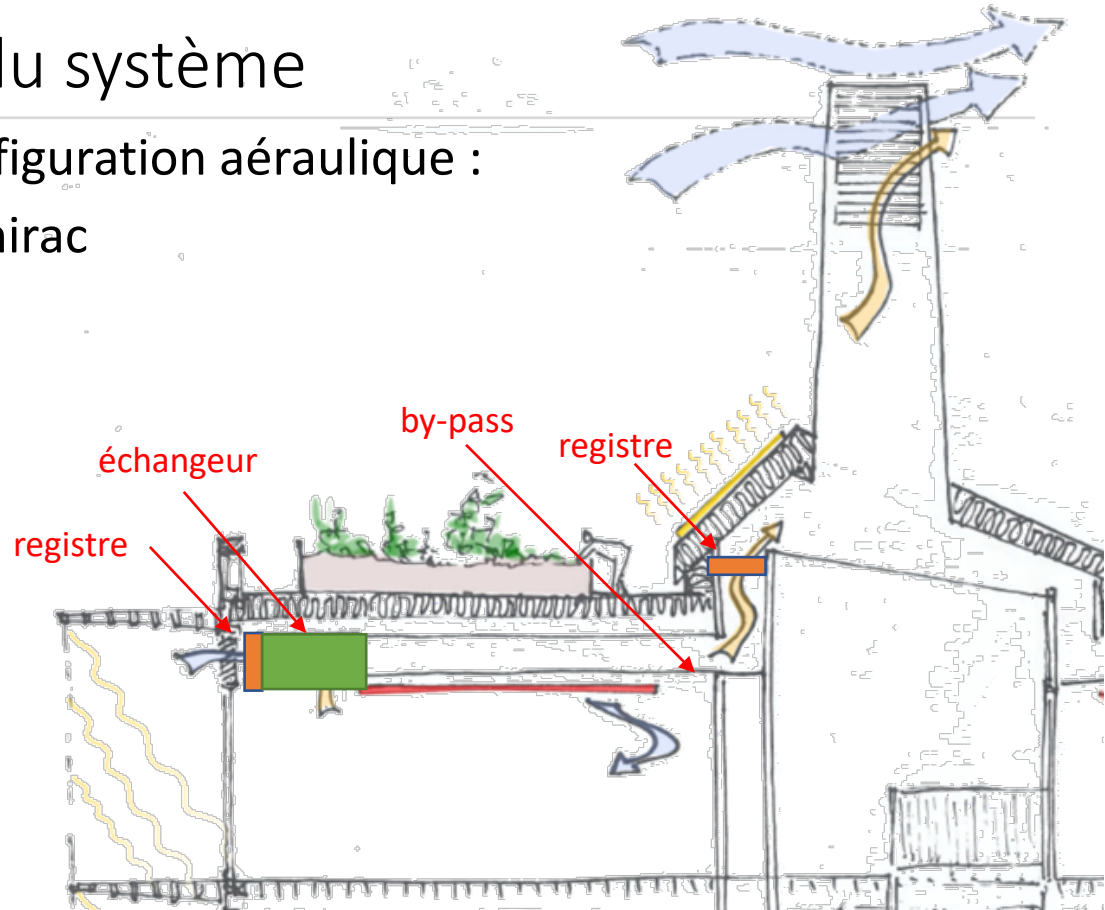
Présentation du système

Evolution de la configuration aéraulique : Centre de loisir J Chirac



Présentation du système

Evolution de la configuration aéraulique :
Centre de loisir J Chirac



Présentation du système



Evolution de la configuration aéraulique : Centre de loisir J Chirac

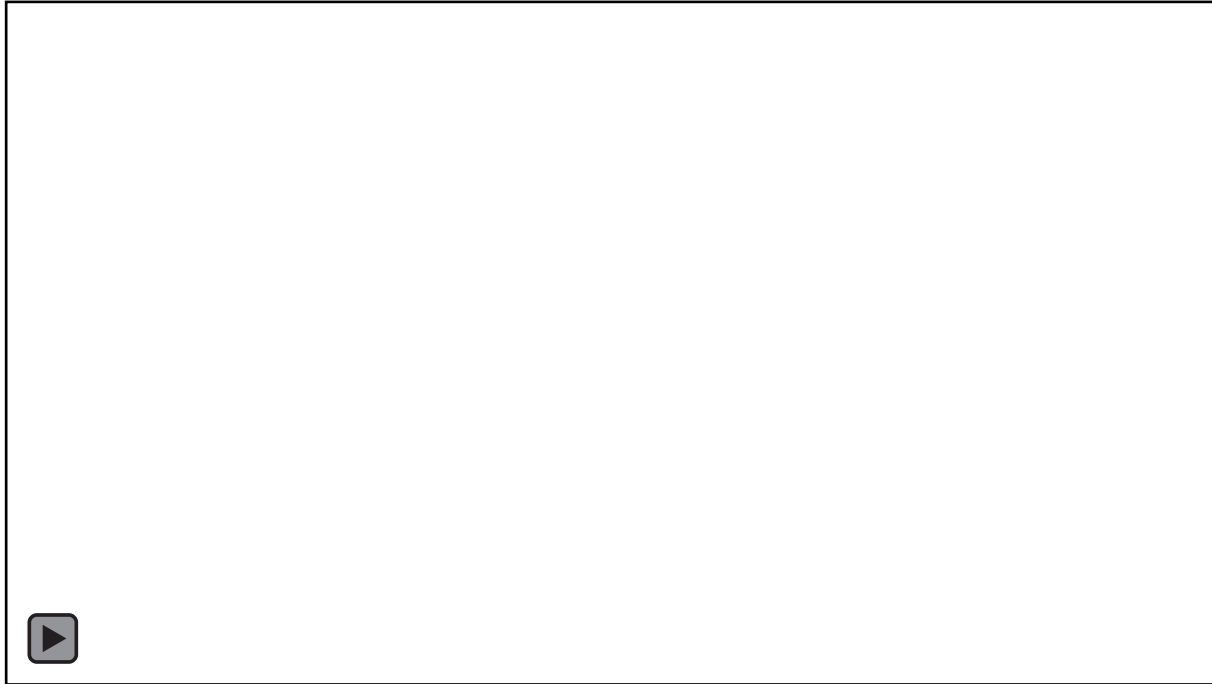
Présentation du système



Evolution de la configuration aéraulique : Centre de loisir J Chirac

Présentation du système

Régulation : Centre de loisirs Felix Eboué



Présentation du système

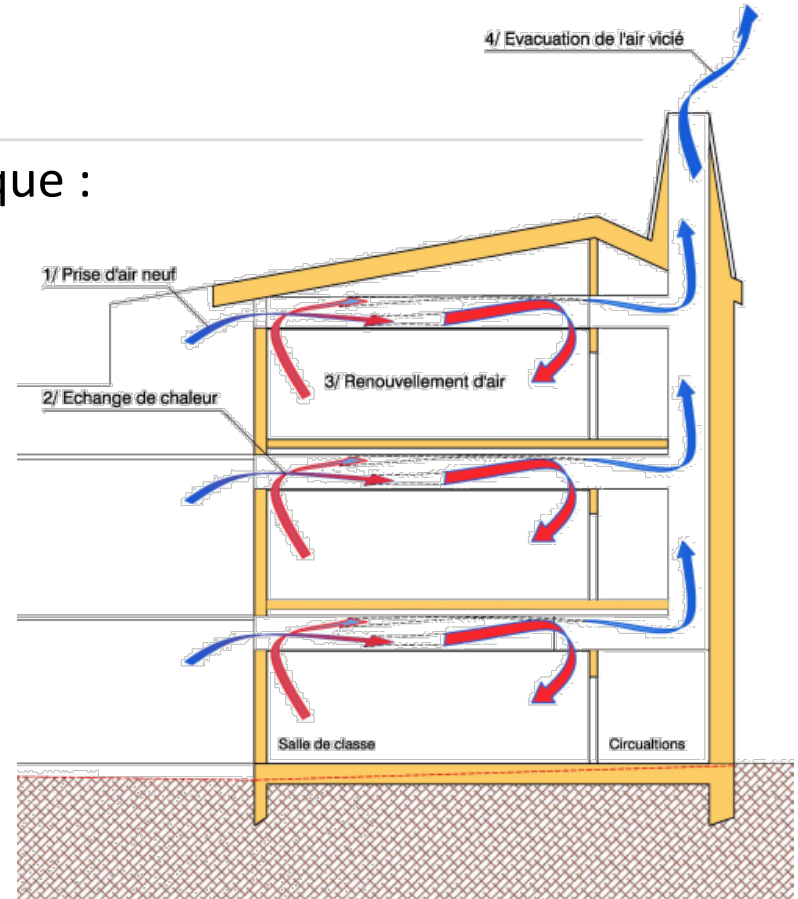
Evolution de la configuration aéraulique : Centre de loisir J Chirac



Présentation du système

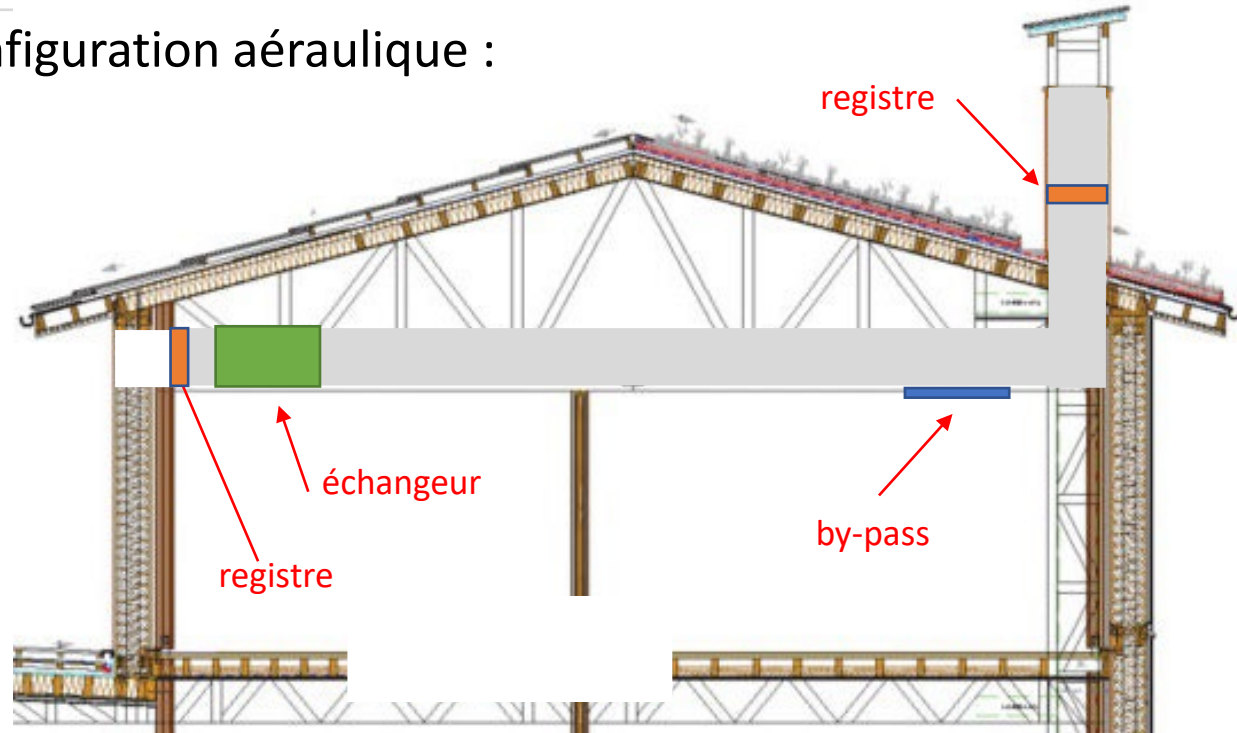
Evolution de la configuration aéraulique :

GS Simone Veil



Présentation du système

Evolution de la configuration aéraulique :
GS Simone Veil

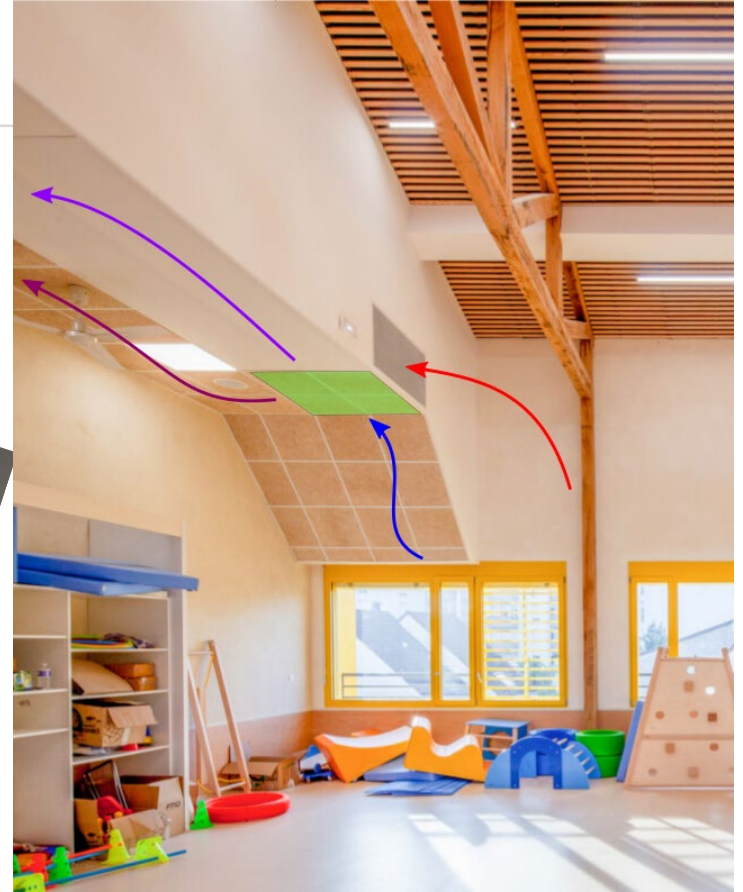


Présentation du système



Evolution de la configuration aéraulique :GS Simone Veil

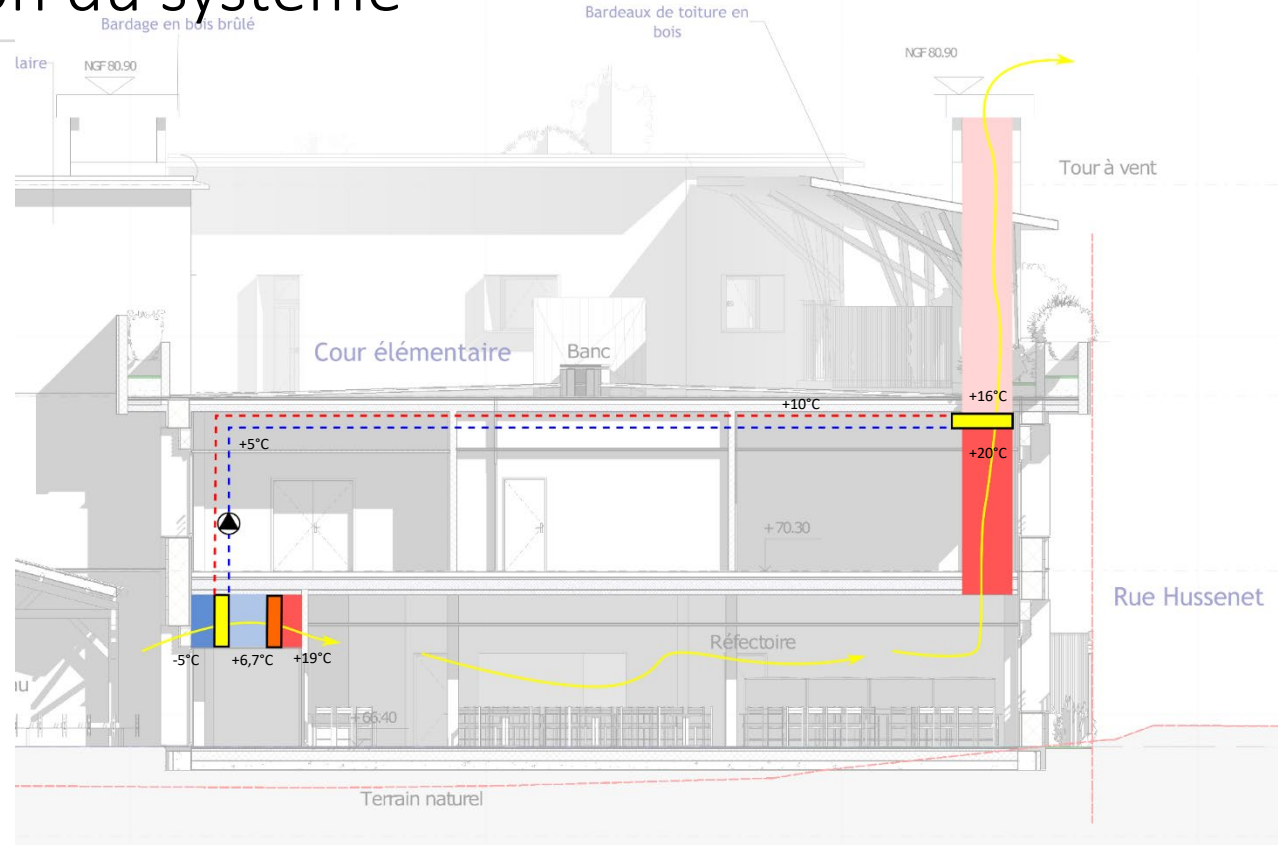
Présentation du système



Présentation du système

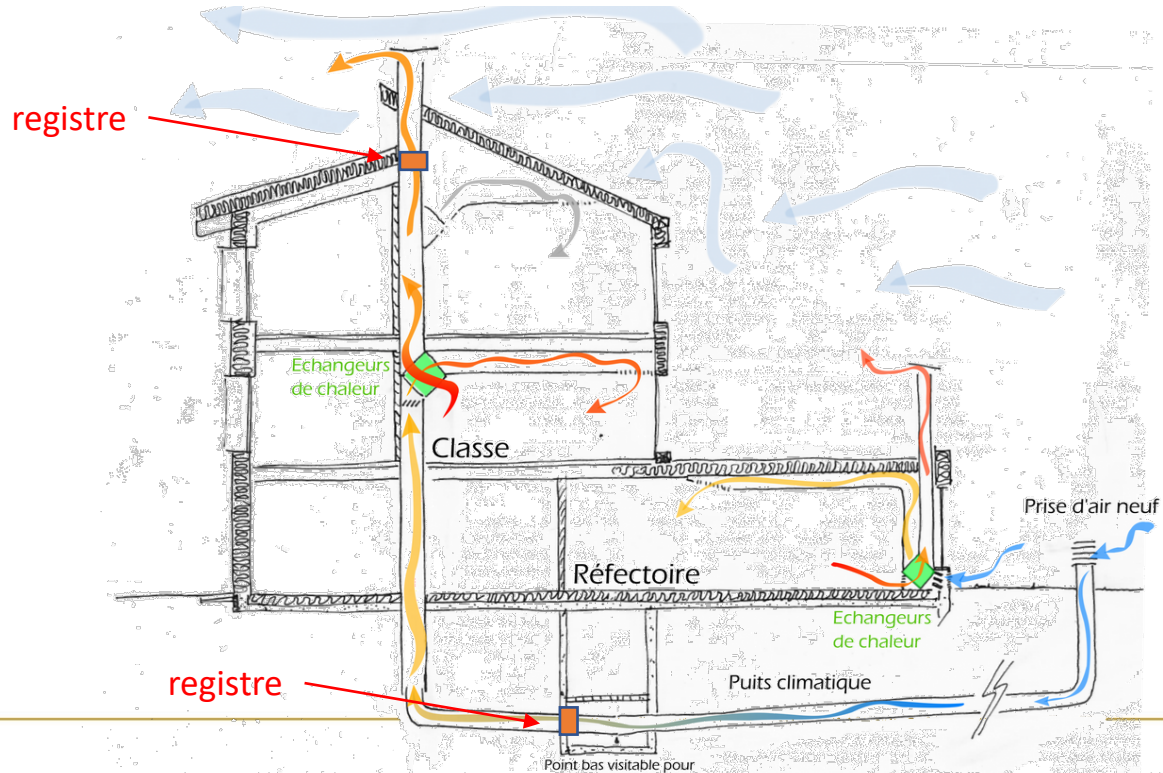


Présentation du système

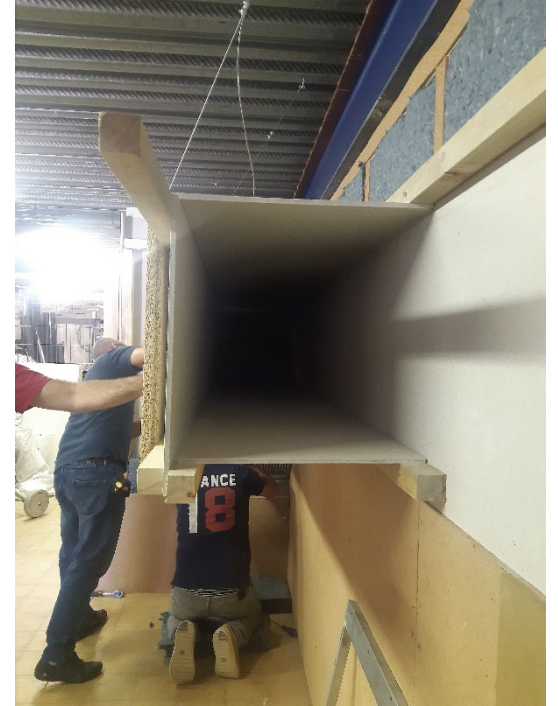


Présentation du système

Evolution de la configuration aéraulique : GS Jean Mermoz

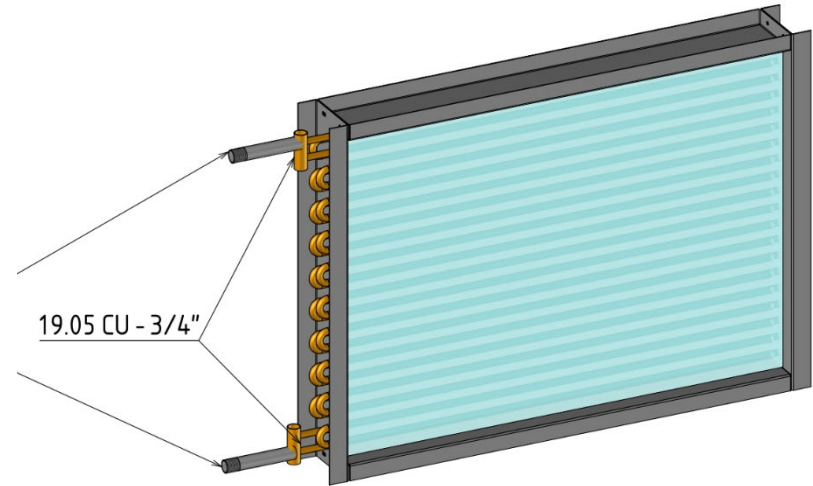


Présentation du système



Présentation du système

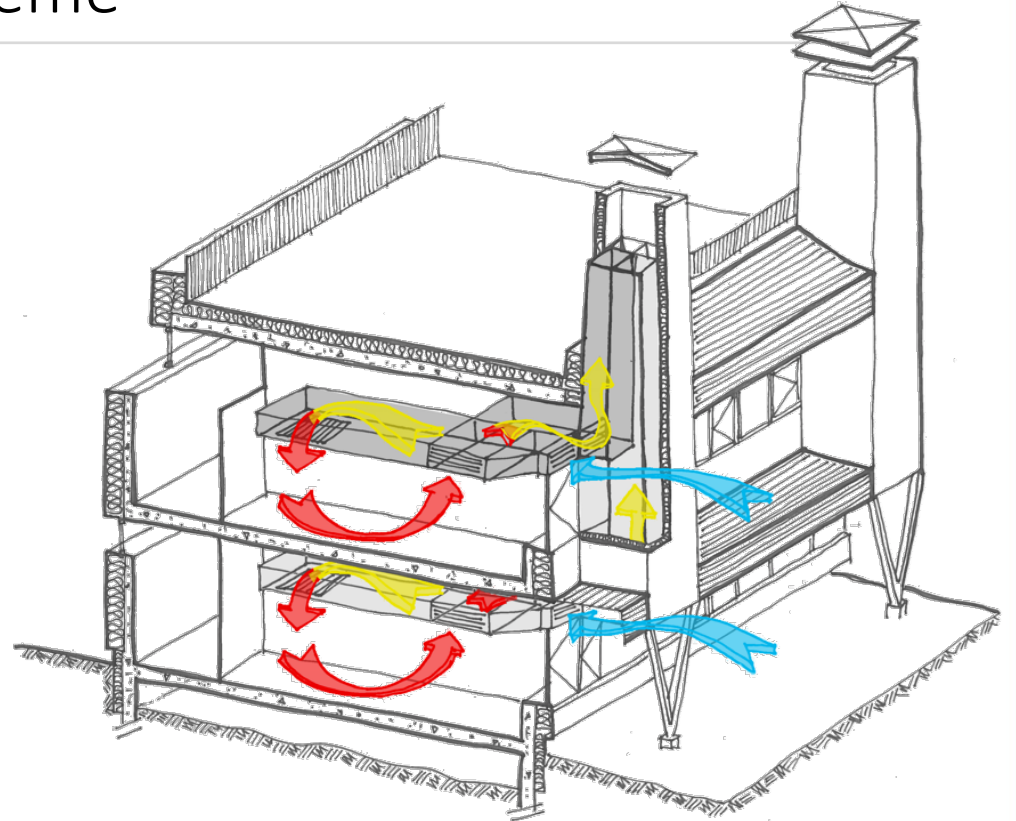
Code géométrie	M25Q	Longueur	1000,0 mm	Nr. of babbles	0
Nbr tubes par rang	14	Pas d' ailettes	3,60 mm		
Nbr rangs	1	Nbr circuits	1	Tube Shape	Circular
Puissance globale				1467	W
Surface d'échange				4,04	m ²
Coefficient global d'échange				13	W/(m ² K)
DELTA T moyen logarithmique				27,9	°C
Côté Air					
Pression atmosphérique / Altitude			1,01 / 0,00		bar A / m
Débit d'air (vol.)			375,0		m ³ /h
Débit d'air (mass.)			471		kg/h
Vitesse frontale sur la batterie			0,30		m/s
Densité air entrée			1,26		kg/m ³
Température air entrée			7,0		°C
Humidité relative entrée			80,00		%
Humidité spécifique entrée			5,00		g/kg DA
Enthalpie air entrée			19,50		kJ / kg
Température sortie			18,1		°C
Humidité relative sortie			38,68		%
Humidité spécifique sortie			5,00		g/kg DA
Enthalpie air sortie			30,72		kJ / kg
Perte de charge fluide			0,332826		Pa
Facteur d'encrassement			0,000000		(m ² K)/W
Coefficient d'échange partiel			16		W/(m ² K)
Côté fluide					
Fluide					WATER (1 bar A)
Débit fluide (vol.)			0,1		m ³ /h
Débit fluide (mass.)			84		kg/h
Vitesse du fluide			0,34		m/s
Température entrée			48,0		°C
Température sortie			33,0		°C
Pertes de charge totales côté fluide			0,06		bar A
Coefficient d'échange partiel			2170		W/(m ² K)
Facteur d'encrassement			0,000000		(m ² K)/W



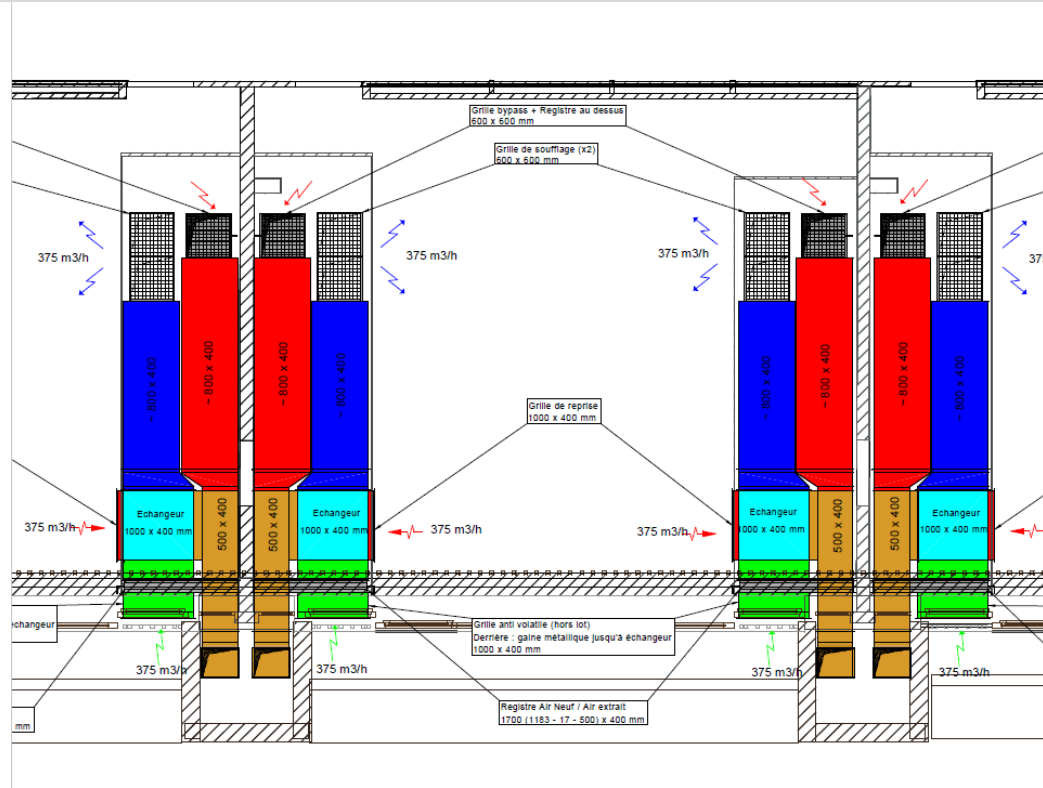
Présentation du système



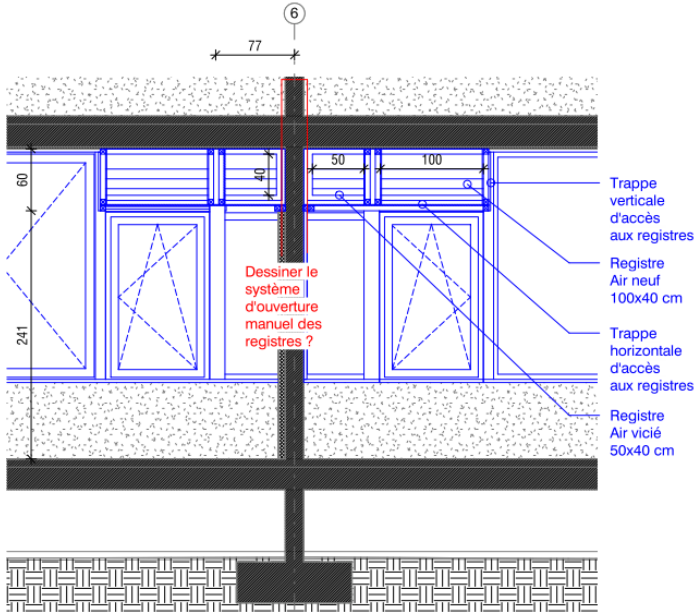
Présentation du système



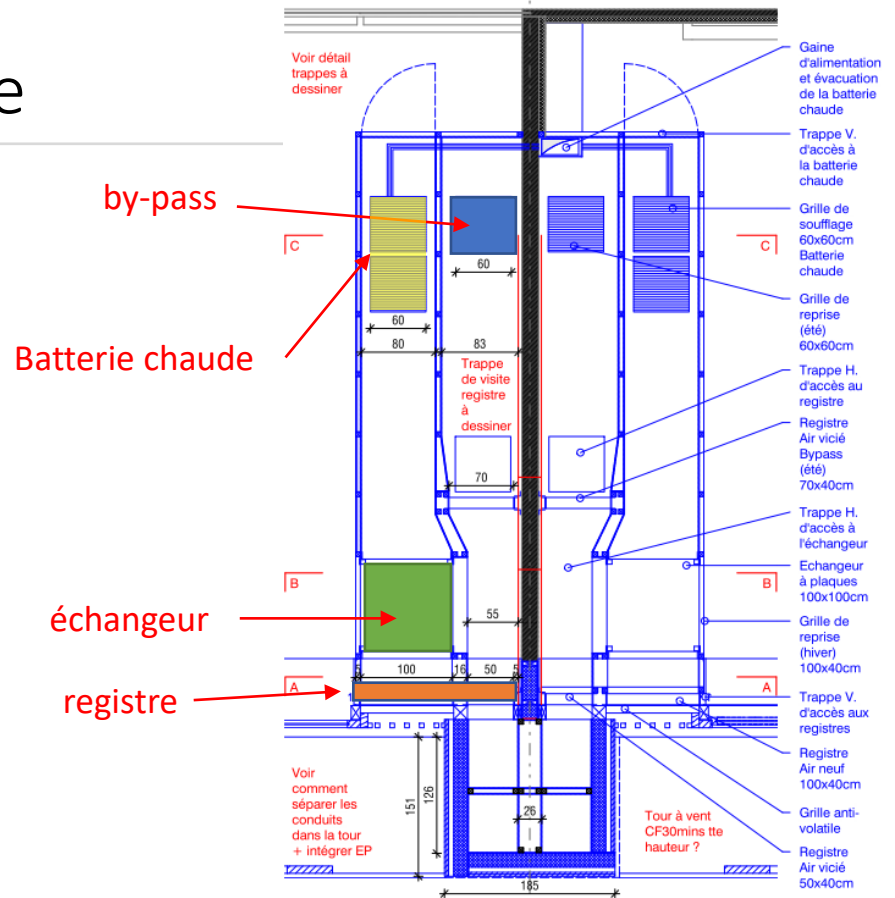
Présentation du système



Présentation du système



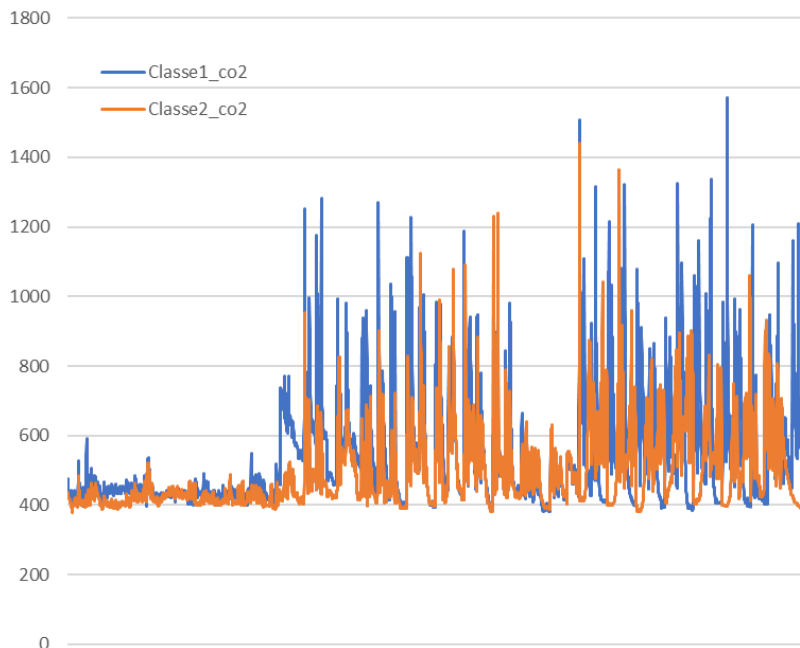
Coupe AA



Rex: Instrumentation et évaluation

Suivi des concentrations CO₂ à la réception – école des Boutours

Concentration CO₂, période Juillet > Décembre 2018

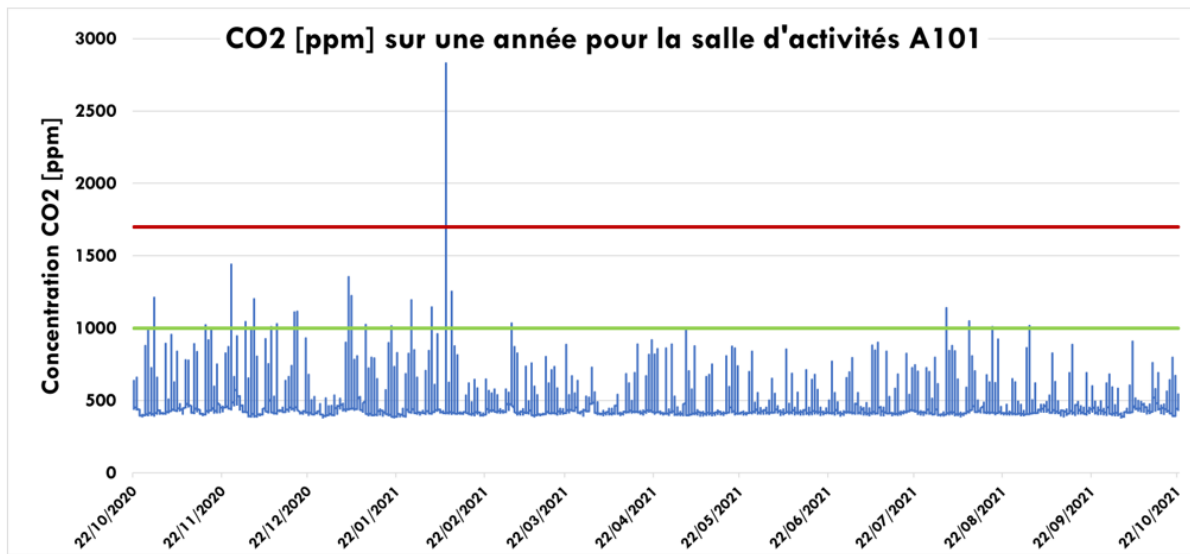


Salle	Observations	Qualité de l'air
Classe 1	Pics journaliers le plus souvent inférieurs à 1000/1200 ppm. 2 pics à 1500 ppm en novembre / décembre	Très bonne
Classe 2	Pics journaliers inférieurs à 1000/1200 ppm. Quelques pics à 1400/1600 ppm	Très bonne
Classe 3	Pics journaliers le plus souvent inférieurs à 1000/1200 ppm. 1 pic à 1400 ppm en octobre 2 pics à 1600 ppm en novembre / avril 1 pic à 2000 ppm en décembre	Très bonne
Classe 4	Pics journaliers le plus souvent inférieurs à 1000/1200 ppm. 1 pic à 1800 ppm en décembre 4 pics à 1500 ppm en janvier / février / avril	Très bonne
Classe 7	Pics journaliers inférieurs à 800/1000 ppm Quelques pics à 1200 ppm	Très bonne
Classe 8	Pics journaliers le plus souvent inférieurs à 1000/1200 ppm. 4 pics à 2000 ppm 4 pics à 1800 ppm	Bonne*
Classe 9	Pics journaliers le plus souvent inférieurs à 1000/1400 ppm. 1 pic à 1400 ppm en octobre 2 pics à 1600 ppm en novembre / avril 1 pic à 2000 ppm en décembre	Bonne*
Périscolaire	analyse d'une année complète y compris juillet/août Pics journaliers inférieurs à 1000/1200 ppm Quelques pics à 1400 ppm	Très bonne
Dortoir 2	Les pics journaliers entre 1600 et 2000 ppm sont fréquents, environ 50% des jours ils sont aux alentours de 1000-1200 ppm.	Bonne*
Petit hall	Pics journaliers le plus souvent inférieurs à 600/800 ppm Quelques pics à 1000/1200 ppm 1 pic à 1500 ppm en décembre	Très bonne

Retour d'expériences : CO₂, Consommations

Sondes CO₂ : centre de loisirs Jacques Chirac

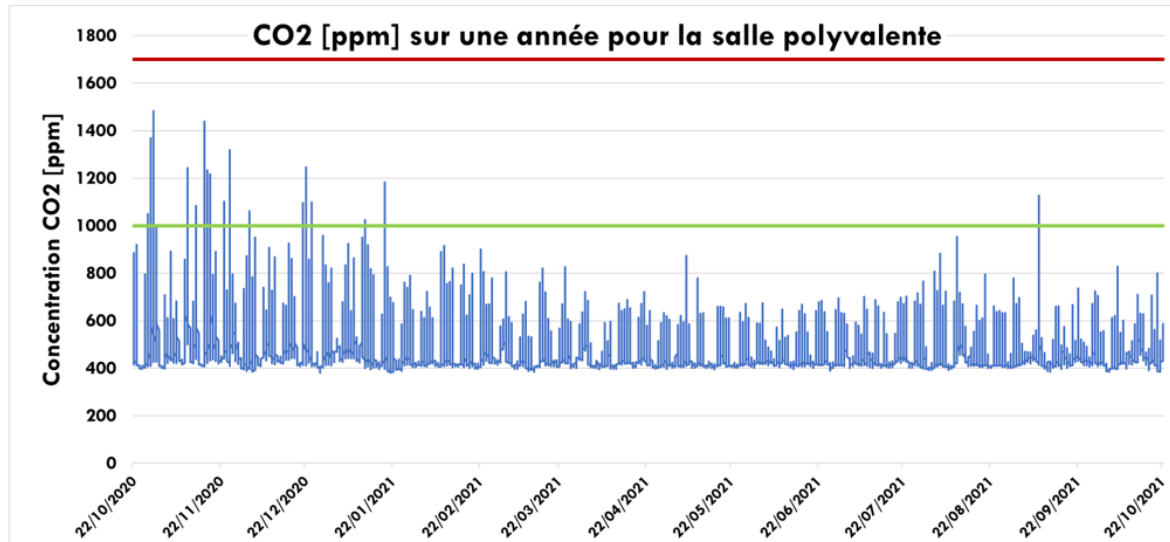
Salle d'activités R+1 – A101 – période octobre 2020 / octobre 2021



Retour d'expériences : CO₂, Consommations

Sondes CO₂ : centre de loisirs Jacques Chirac

Salle Polyvalente RDC – période octobre 2020 / octobre 2021



Rex: Evaluation par le COSTIC (Boutours, 2021)

(Comité Scientifique et Technique
des Industries de Climatisation)

7. Synthèse

Le système de ventilation naturelle mis en place à l'école des Boutours est novateur. Il se situe dans un créneau où les normes et réglementations actuellement en vigueur ne s'appliquent pas.

Ces textes officiels se basent :

- Sur un maintien précis de débits à l'instar de la ventilation mécanique,
- Sur des caractérisations d'efficacité des échangeurs en pourcentage.

Cette étude a été menée en s'adaptant au mieux aux contraintes de la ventilation naturelle.

La validation de ce type de système devrait être caractérisé par un **objectif de résultats**.

Par exemple comme nous avons pu le montrer :

- Une concentration en CO₂ maintenue en dessous de 1000 ppm,
- Un maintien d'une température de soufflage minimale.

Rex: Evaluation par le COSTIC (Boutours, 2021)

(Comité Scientifique et Technique
des Industries de Climatisation)

Le système mis en place peut être amélioré.

Certaines pistes d'amélioration ont été fournies :

- Une diminution du débit cible à fournir dans les classes,
- Un colmatage des fuites sur les réseaux,
- Un rééquilibrage des débits d'extraction et de soufflage
- Une sensibilisation plus importante des utilisateurs,
- Un bypass sur l'échangeur en période estivale afin de réaliser un rafraîchissement nocturne,
- Un arrêt de la ventilation en absence des occupants, sauf dans le cas de nécessité de rafraîchissement.

Rex: Evaluation par le COSTIC (Boutours, 2021)

Température [°C]	
—	Extérieure
—	Insufflation
—	Température dans la classe

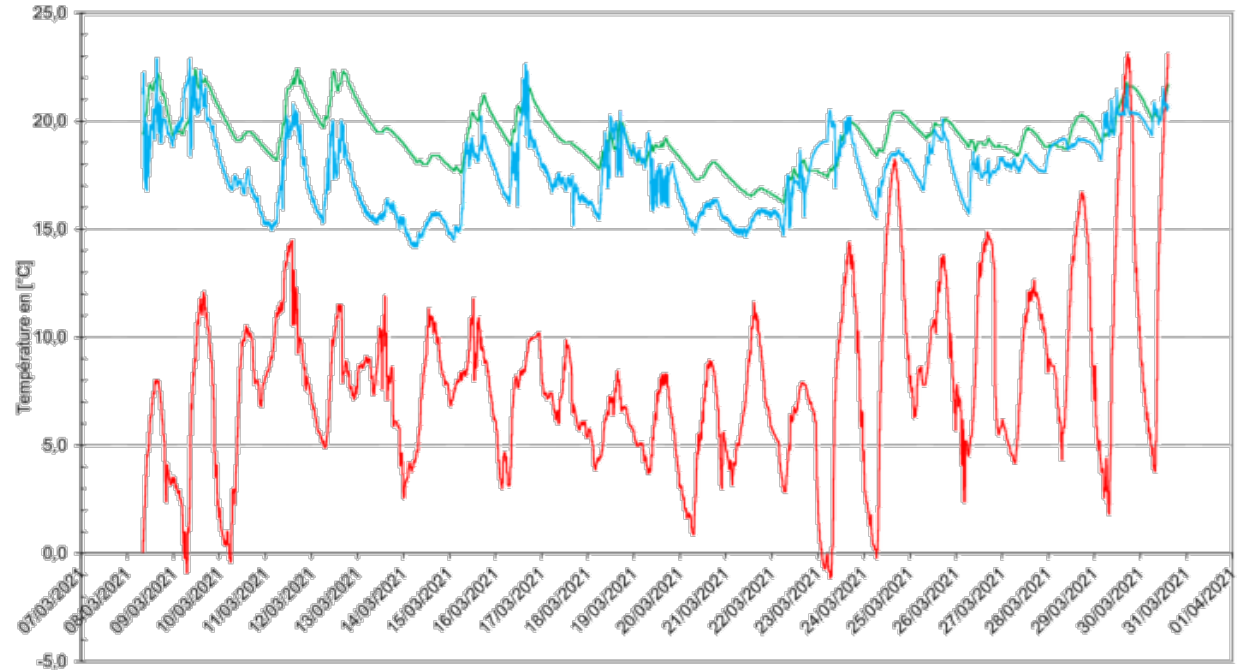


Figure 22 : Evolution des températures du 8/03/21 au 17/04/2021 (classe 6)

Retour d'expériences : CO2, Consommations

Consommations de chauffage

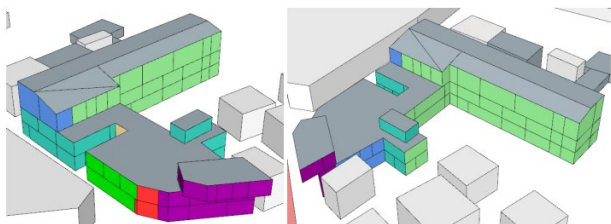
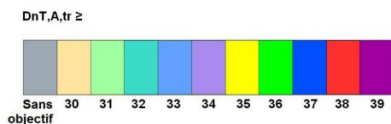
Analyse des Boutours après plusieurs années de fonctionnement :

Comparaison Estimations / Conso. réelles	Conso. Estimée	Conso réelle (corrigée DJU)	Ecart
	[kWh/m2.an]		[%]
Boutours 2	33,4	45,2	35%

- Des écarts significatifs par rapports aux estimations faites en phase d'étude.
- Malgré tout : des consommations qui restent assez faibles.
- La théorie + optimiste que les conditions réelles, particulièrement au démarrage (problèmes de régulation à la mise en service, période de COVID avec décalage consigne CO2, températures int...)
- + De retours d'expérience dans le futur : groupes scolaires Simone Veil, Jean Mermoz et la réhabilitation Bois Perrier.

Retour EX: confort acoustique

3.1 Isolements acoustiques des façades – Groupe scolaire Simone Veil

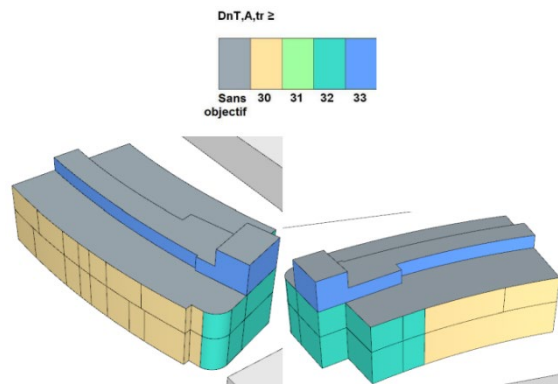


Niv	Local de réception – Ouverture VN	Mesures	Objectifs	Commentaires*
RDC	Classe B1.10 – VN fermée	32	≥ 31	C
RDC	Classe B1.10 – VN 100%	28	≥ 31	CT
RDC	Centre de loisirs - #	34	≥ 31	C
RDC	Réfectoire – VN 10% et 40%	36	≥ 35	C
RDC	Réfectoire – VN 100% et VN 100%	32	≥ 35	CT
RDC	Dortoir – VN fermée	29	≥ 31	CT
RDC	Dortoir – VN 100%	28	≥ 31	CT
RDC	Dortoir – VN 50%	30	≥ 31	CT
R+1	Classe B1.21 – VN 60%	29	≥ 31	CT
R+1	Classe B1.21 – VN fermée	33	≥ 31	C
R+1	Classe B1.21 – VN 100%	27	≥ 31	NC
R+1	Classe B2.22 – VN fermée	31	≥ 32	CT
R+1	Classe B2.22 – VN 100%	32	≥ 32	C
R+1	Classe B2.22 – VN 50%	31	≥ 32	CT
R+1	BCD – VN fermée	31	≥ 36	NC

* C : Conforme, CT : Conforme y compris incertitude normative ±3 dB, NC : non conforme

Retour EX: confort acoustique

3.2 Isolements acoustiques des façades – Centre de loisirs Jacques Chirac



Niv	Local de réception – Ouverture VN	Mesures	Objectifs	Commentaires*
RDC	Bureau direction – VN fermée	33	≥ 30	C
RDC	Bureau direction – VN ouverte	27	≥ 30	CT
RDC	Salle animateurs – VN ouverte	28	≥ 30	CT
RDC	Salle animateurs – VN fermée	29	≥ 30	CT
RDC	Salle d'activités – VN ouverte	25	≥ 32	NC
RDC	Salle d'activités – VN fermée	31	≥ 32	CT
RDC	Salle polyvalente – VN fermée	32	≥ 30	C
RDC	Salle polyvalente – VN ouverte	27	≥ 30	CT
R+1	Salle d'activités – VN ouverte	27	≥ 30	CT
R+1	Salle d'activités – VN fermée	31	≥ 30	C
R+1	Salle d'expression – VN ouverte	28	≥ 30	CT
R+1	Salle d'expression – VN fermée	32	≥ 30	C
R+1	Salle d'activités manuelles – VN ouverte	27	≥ 32	NC
R+1	Salle d'activités manuelles – VN fermée	30	≥ 32	CT

* C : Conforme, CT : Conforme y compris incertitude normative ±3 dB, NC : non conforme

Retour d'expérience sur les coûts de la VNRC

	Montant HT	débit	€ HT/m ³	source	commentaire
Rosny CL J Chirac	72 000 €	5035	14,3 €	ACT	Seulement le cout du Lot CVC sous sotal VN
Rosny CL J Chirac	100 710 €	5035	20,0 €	ACT	Ajout du cout de la structure et couverture des Tours à vent
Rosny CL J Chirac	156 210 €	5035	31,0 €	ACT	Ajout du cout de la structure et couverture des Tours à vent et gaines de ventilation naturelle
Rosny Boutours 2	230 489 €	15066	15,3 €	ACT	Seulement le cout du Lot CVC sous sotal VN
Rosny Boutours 2	316 236 €	15066	21,0 €	ACT	Ajout du cout de la structure et de la couverture des Tours à Vent
Rosny MERMOZ	336 461 €	24316	13,8 €	ACT	Seulement le cout du Lot CVC sous sotal VN
Rosny MERMOZ	470 071 €	24316	19,3 €	ACT	Ajout du cout de la structure et de la couverture des Tours à Vent
Rosny MERMOZ	598 692 €	24316	24,6 €	ACT	Ajout du cout de la structure et de la couverture des Tours à Vent et des gaines de ventilation naturelle
Rosny Metro / Simone Veil	234 000 €	18000	13,0 €	ACT	Seulement le cout du Lot CVC sous sotal VN
Rosny Metro / Simone Veil	330 475 €	18000	18,4 €	ACT	Ajout du cout de la structure et de la couverture des Tours à Vent
Rosny Metro / Simone Veil	424 398 €	18000	23,6 €	ACT	Ajout du cout de la structure et de la couverture des Tours à Vent et des gaines de ventilation naturelle

Coûts provenant non seulement du lot CVC mais aussi des Lots Structure/Charpente (tours à vent), des Lots Cloisons/Fx Plafond (gaines et plenum)

Conclusion

Pistes suivies par la DRI:

- Intégration dans des bâtiments existant (Boutours > Bois perrier)
- Evolution constante des moyens de mise en œuvre des échangeurs
- Travail sur les modes de régulation
- Recherches sur des échangeurs plus artisanaux, peu concluantes à ce stade

À suivre :

- Finalisation du projet BATRESP (publications à venir)
- Formation VNRC premier moitié de 2023 (EKOPOLIS)
- Exposition sur la VN premier trimestre 2023 (ENAPLV)

Merci !

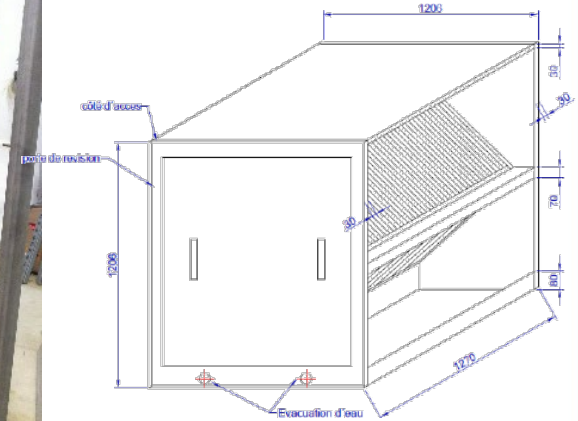
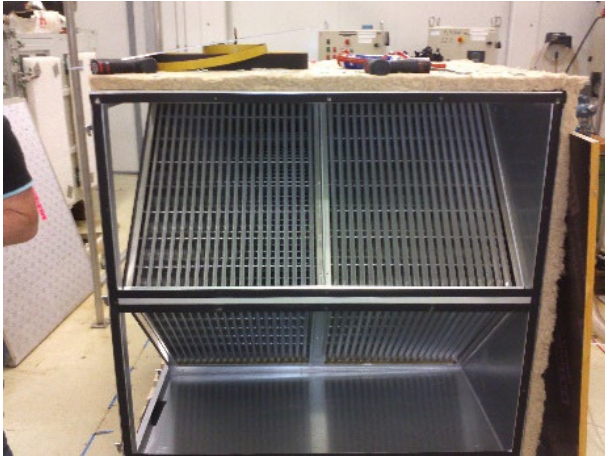
Place aux questions

DIVERS

1. Instrumentation CETIAT échangeur évaluation
2. Echangeur artisanal
3. Capitalisation et diffusion

1. Instrumentation et évaluation

Instrumentation échangeur à plaques au CETIAT (2017)



1. Instrumentation et évaluation

Instrumentation échangeur à plaques au CETIAT (2017)

2.2. Essais d'efficacité thermique

		Point à 750 m³/h avec isolant complémentaire	Point à 1000 m³/h avec isolant complémentaire	Point à 1500 m³/h avec isolant complémentaire	Point à 750 m³/h sans isolant complémentaire
Débit volumique air neuf	m³/h	763.0	1015.5	1514.3	764.7
Température sèche air neuf	°C	5.0	4.9	4.9	4.9
Débit volumique air extrait	m³/h	779.4	1037.0	1555.2	779.8
Température sèche air extrait	°C	25.1	25.1	24.9	24.8
Température sèche air soufflé	°C	15.0	14.7	14.2	14.9
Bilan thermique		0.98	1.00	1.00	0.96
Rapport températures air neuf		49.9%	48.4%	46.5%	50.1%

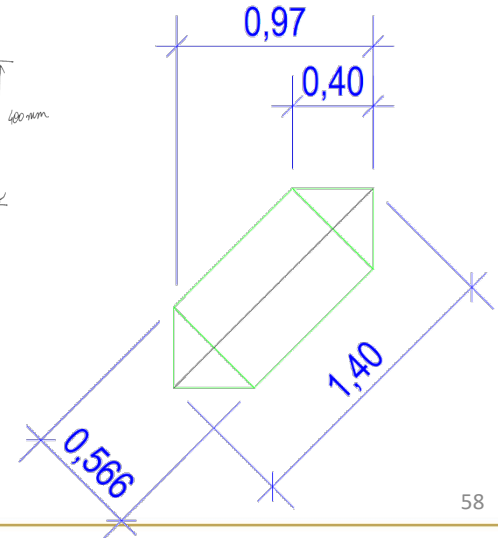
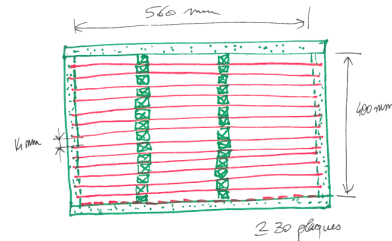
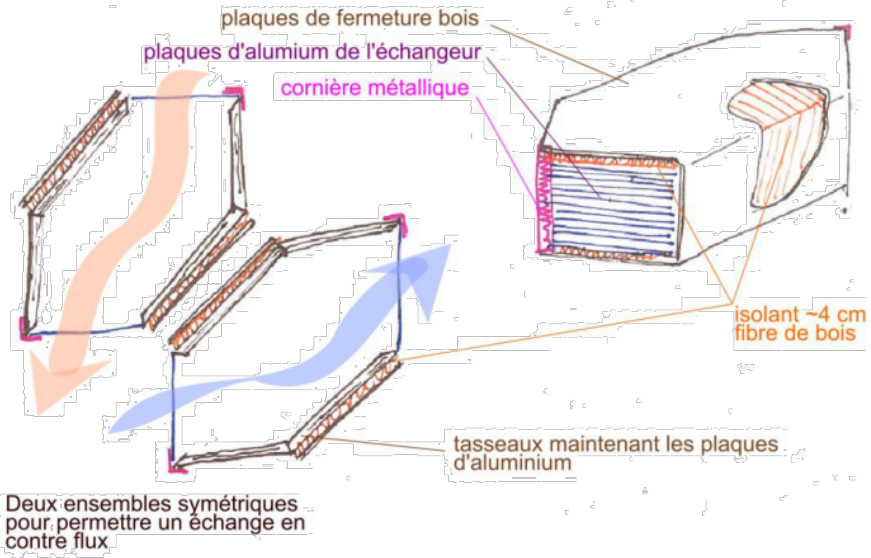
2.3. Essais de pertes de charges

Flux air neuf	
Débit	DP totale Echangeur seul (aux conditions de référence)
m³/h	Pa
450	0.2
600	0.4
750	0.6
900	0.9
1000	1.1
1200	1.6
1500	2.5

Flux air extrait	
Débit	DP totale Echangeur seul (aux conditions de référence)
m³/h	Pa
450	0.2
600	0.4
750	0.6
900	0.9
1000	1.1
1200	1.6
1500	2.6

2. Optimisation du système

Mise au point d'un échangeur artisanal



2. Optimisation du système

Mise au point d'un échangeur artisanal

