

VENTILATION DES PISCINES INTÉRIEURES : QUALITÉ DE L'AIR ET CONFORT THERMIQUE

Pr. Stéphane Hallé, Ing., Ph.D. (ÉTS)

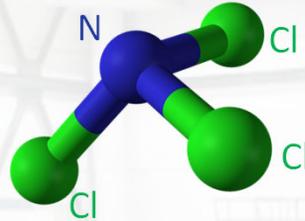
Hélène Proulx, arch., Ph.D., (UdeS)

Pr. Maximilien Debia, Ph.D. (UdeM)

44^e congrès de l'AQHSST
Valleyfield
22 au 24 mai 2024

CONTEXTE – SOUS-PRODUITS DE DÉSINFECTION

Le trichlorure d'azote (NCl_3) ou trichloramine:



$$\rho_{\text{NCl}_3} = 1.65 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

- Réactions chimiques entre les agents désinfectants et les matières organiques présentes dans l'eau ou amenées par les baigneurs.
- S'accumule dans les zones de respiration des baigneurs.
- Se déplace dans d'autres zones de respiration (sauveteurs, moniteurs, occupants).
- Gaz qui cause des problèmes de santé (irritation des voies respiratoires, irritation oculaire, l'hyperréactivité bronchique).

Du chlore provoque des malaises lors d'une compétition de natation



La Presse. <https://www.lapresse.ca/actualites/201906/30/01-5232216-du-chlore-provoque-des-malaises-lors-dune-competition-de-natation.php>

CONTEXTE - RÉGLEMENTATION

Les concentrations de NCl_3 dans l'air ne sont pas réglementées au Québec ni au Canada

Organisme	Pays	Concentration maximale de NCl_3 (mg/m^3)
Ministry of Social Affairs and Health, 2012	Finlande	0,50
Organisation mondiale de la santé, 2006	-	0,50
WorkSafeBC, 2014	Canada	0,35
Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, 2010	France	0,30
German Federal Environment Agency 2011	Allemagne	0,20
Swiss technical standard, 2011	Suisse	0,20
Nordic Expert Group, 2020	Norvège	0,10

CONTEXTE - RÉGLEMENTATION

Codes et normes applicables au Canada et au Québec

- Code National du bâtiment - Canada
- Code de construction du Québec**
- Code de sécurité du Québec
- Code national de l'énergie pour les bâtiments - Canada

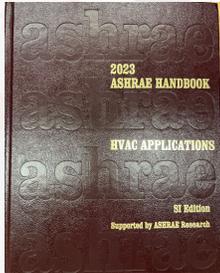
Ces codes réfèrent aux recommandations de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)

**



Le chapitre « Énergie » du code de construction du Québec, en vigueur depuis 2020, prescrit que **l'apport d'air extérieur minimal requis pour obtenir une bonne qualité de l'air doit constituer l'apport d'air maximal**

CONTEXTE - RÉGLEMENTATION



Nombre de changement d'air (total) par heure (CAH): **4 à 6 CAH sans spectateurs**
6 à 8 CAH avec spectateurs



Apport d'air extérieur: **2,4 L/s par m² de surface du bassin et de la plage « mouillée »**
0,3 L/s par m² de surface de la plage « sèche »
3,8 L/s par spectateur + 0,3 L/s/m² de surface



- Le respect de ces recommandations n'est pas garant d'une qualité de l'air acceptable concernant le NCl_3
- La modification de la ventilation risque d'accroître la dépense énergétique et nuire au confort thermique des occupants

OBJECTIFS

Déterminer numériquement l'exposition des occupants* au NCl_3 dans une enceinte aquatique et quantifier l'influence de la ventilation comme moyen de contrôle de l'exposition

- a) Déterminer l'impact du débit d'air extérieur et du nombre de changements d'air sur la concentration du NCl_3 .*
- b) Quantifier l'influence de l'ajout de grilles d'extraction basses, sur la stratification et les niveaux de NCl_3 .*
- c) Évaluer l'impact des stratégies de ventilation sur le confort thermique des occupants.*

* 5 groupes: 1- Baigneurs 2- Plage mouillée 3- Plage sèche 4- Sauveteurs 5- Spectateurs

MÉTHODE

Piscine étudiée

Caractéristiques de l'enceinte

Dimensions du bassin	14 × 25 m
Volume de l'enceinte	9 200 m ³
Surface de la plage incluant le bassin	900 m ²
Enceinte excluant la mezzanine	(36 × 25 × 9) m ³
Mezzanine	(33 × 5 × 5) m ³

Système CVCA

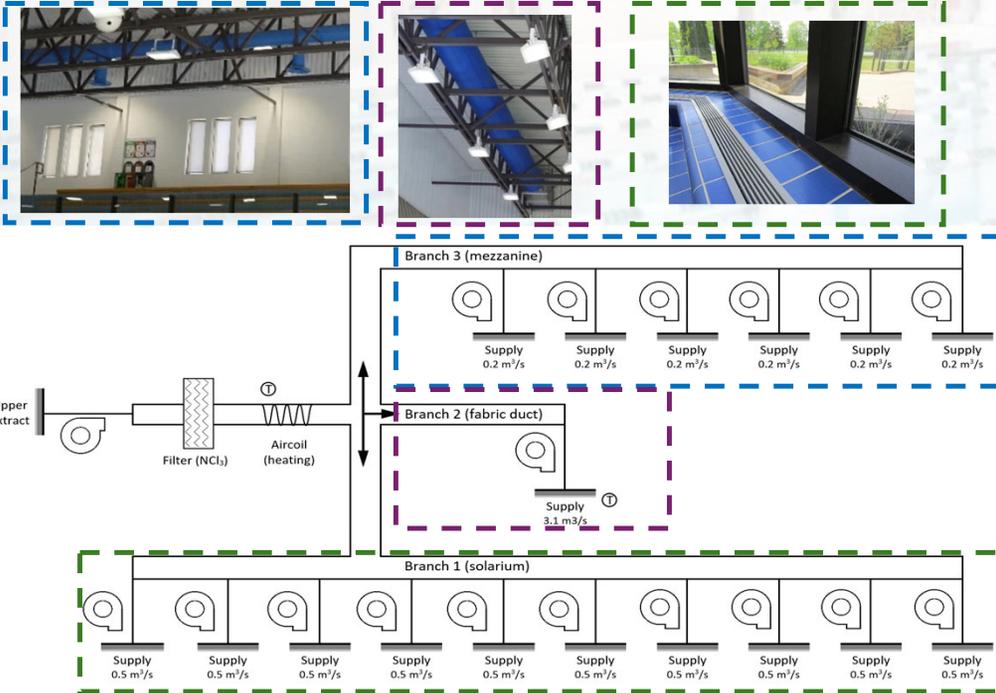
Branches de ventilation	Débit d'air (m ³ /s)
1 - Solarium	4,9
2 - Gaine en tissu	3,1
3 - Mezzanine	1,3
Total	9,3 (CAH = 3,64)



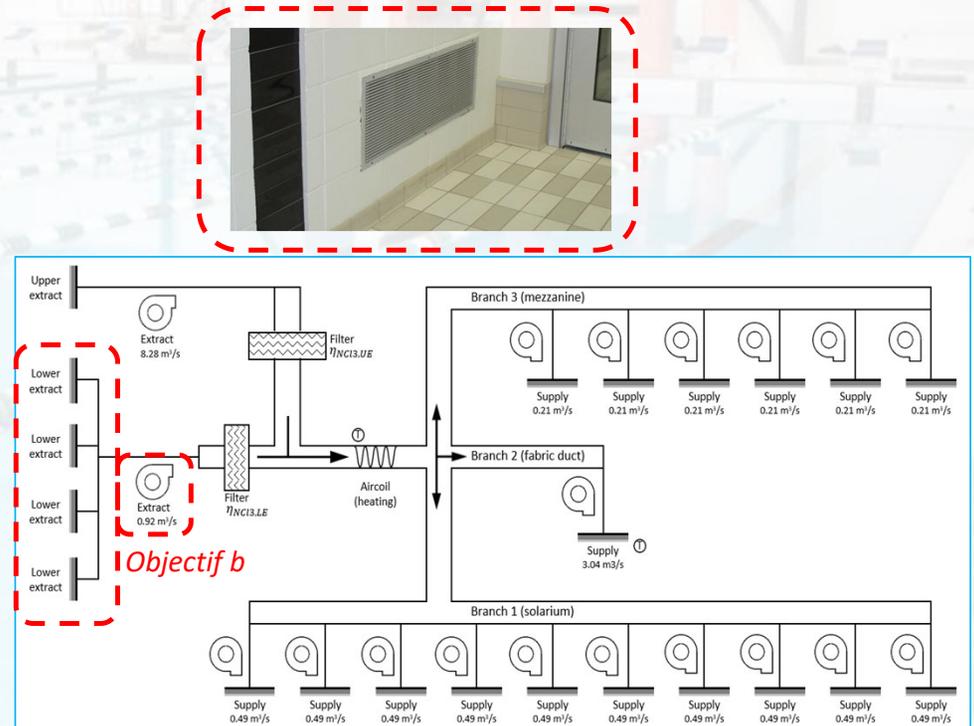
MÉTHODE

Représentation schématique du système de ventilation

Système de référence



Système modifié avec l'ajout de 4 grilles d'extraction basse



MÉTHODE

Simulation numérique selon la méthode « LES »

- Mouvements d'air dans la piscine (u, v, w)
- Champ de température (T)
- Dispersion du contaminant gazeux (C_{NCl_3})

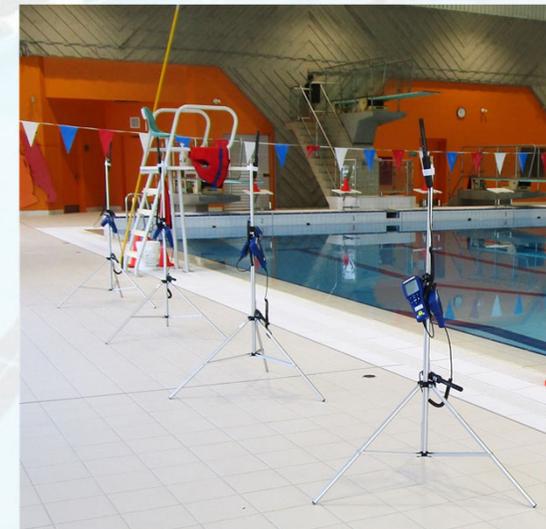
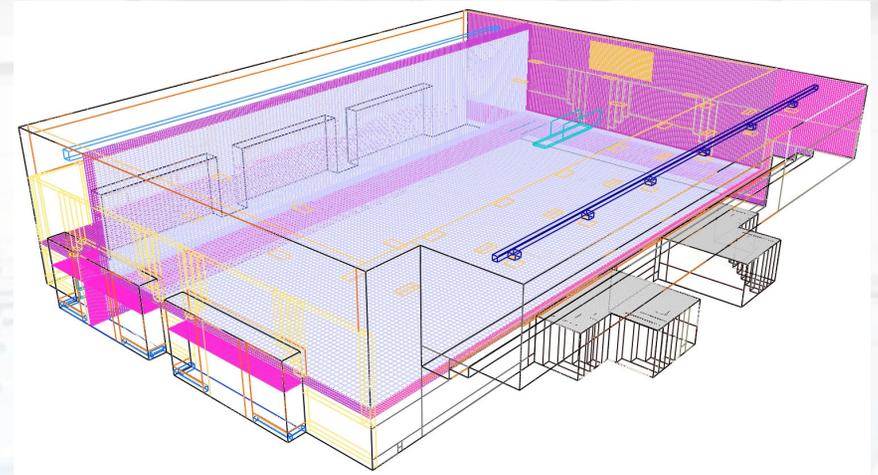
Implantation d'un modèle:

- d'évaporation de l'eau à la surface du bassin
- de confort thermique (PMV-PPD)

Émission constante et uniforme de NCl_3 à la surface du bassin

Validation du code numérique

- Gaz traçant (CO_2) dans une pièce modèle
- Gaz traçant (CO_2) dans l'enceinte de la piscine

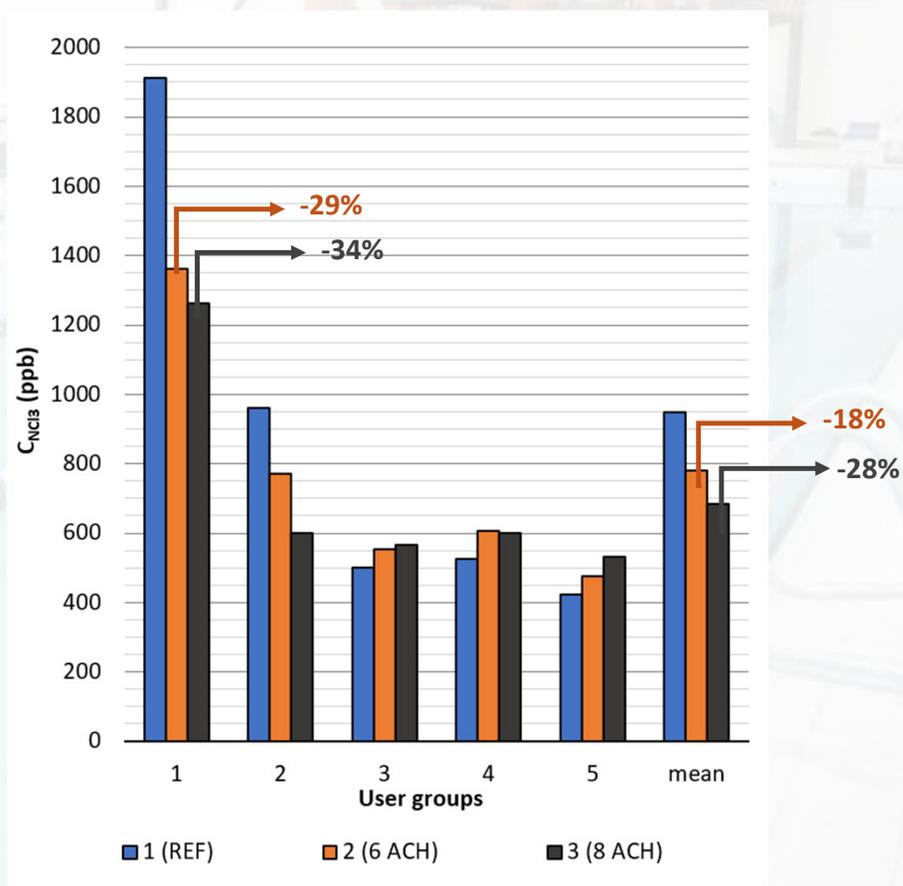


RÉSULTATS

a.1) Impact du nombre de CAH sur la concentration de NCl_3

Le débit d'air extérieur est fixé à 2,1 m³/s

	Simulations		
	1 Référence	2	3
Air extérieur (m ³ /s)	2.1		
Recirculation (m ³ /s)	7.2	13.2	18.3
Débit total (m ³ /s)	9.3	15.3	20.4
ACH (h⁻¹)	3.6	6.0	8.0

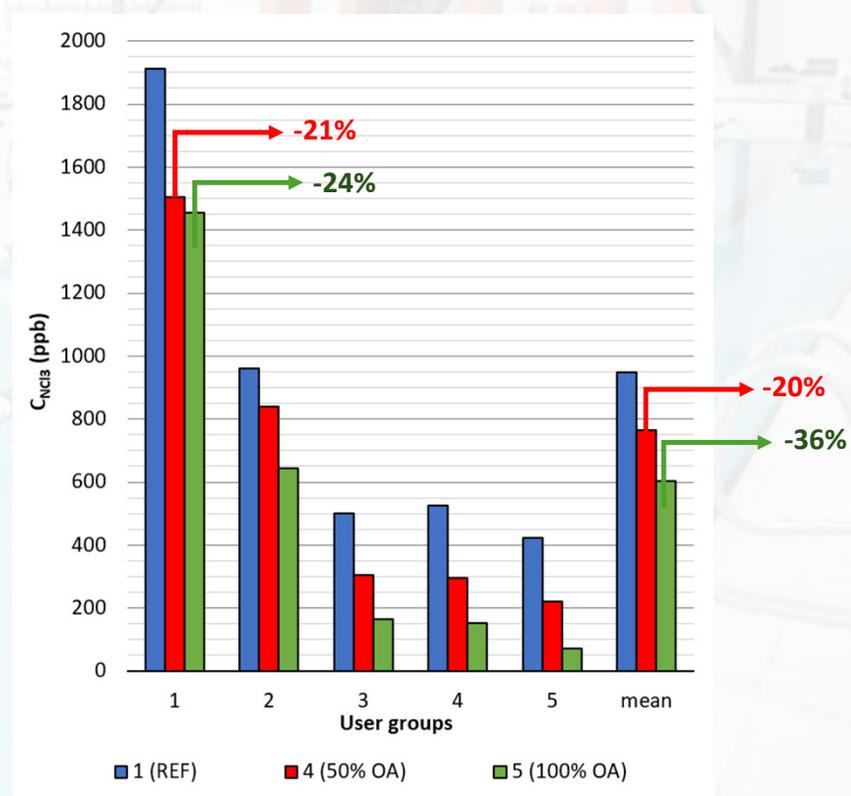


RÉSULTATS

a.2) Impact du débit d'air extérieur sur la concentration du NCl_3

Le nombre de changements par heure (CAH) est fixé à 3.6

	Simulations		
	1 Référence	4	5
Air extérieur (%)	23.0	50.0	100.0
Air extérieur (m^3/s)	2.1	4.6	9.3
Recirculation (m^3/s)	7.2	4.6	0.0
ACH (h^{-1})	3.6		

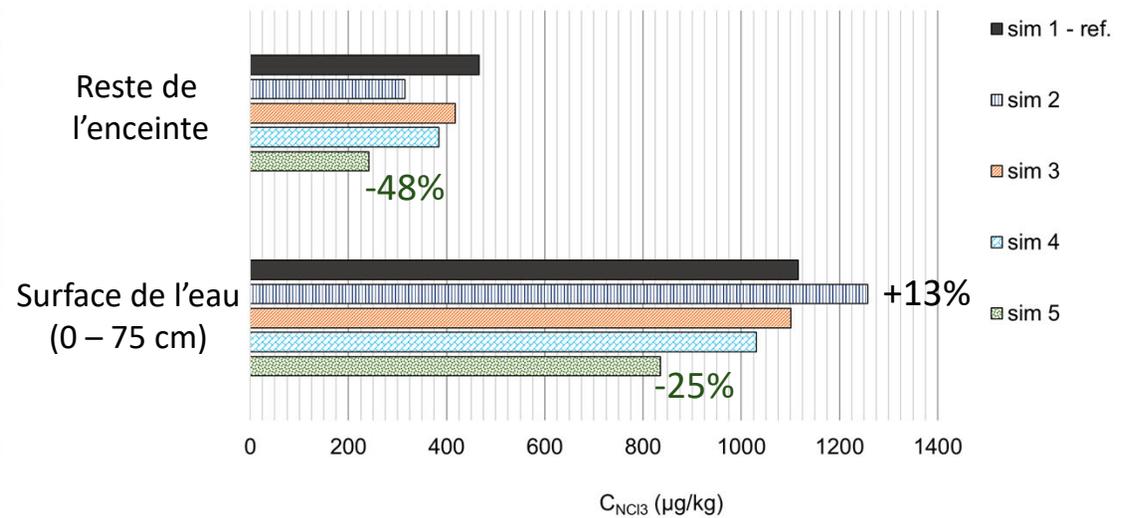
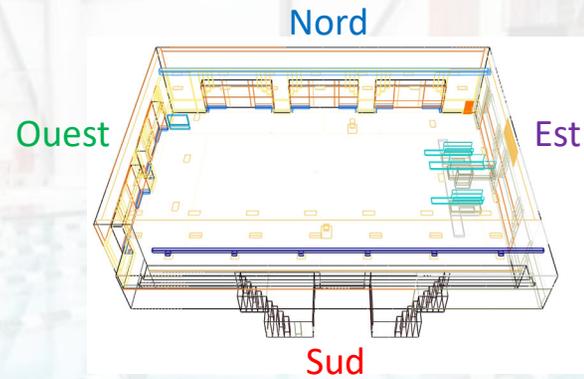


RÉSULTATS

b) Influence de l'ajout de grilles d'extraction basses sur les concentrations de NCl_3

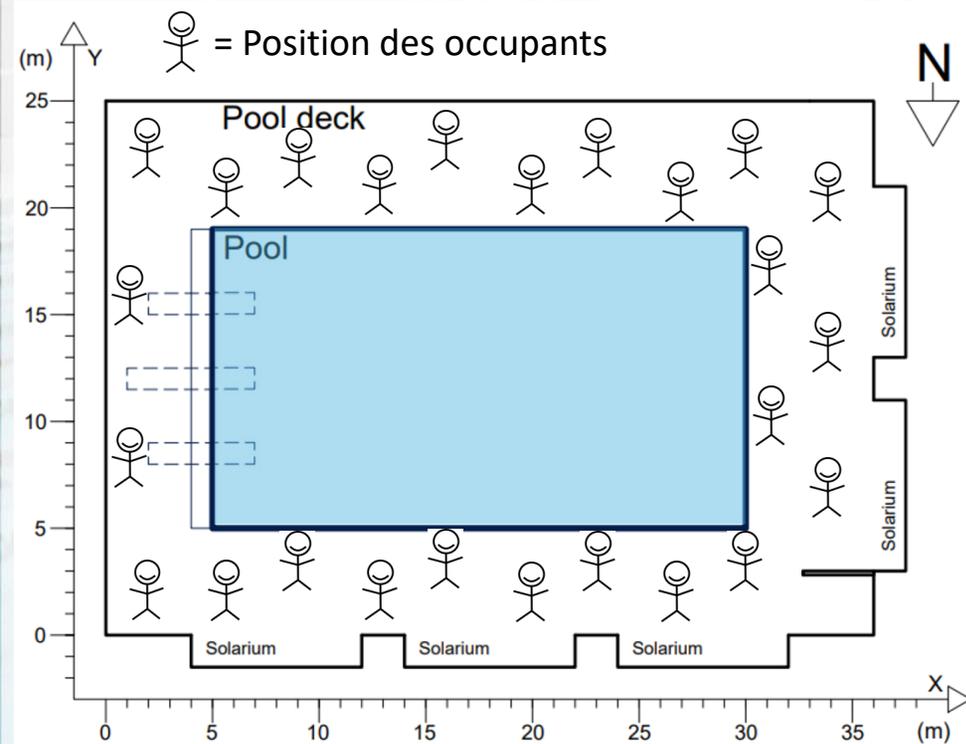
CAH = 3.6 et % d'air frais identique pour tous les cas

Simulation 1 Référence	Aucune grille ■
Simulation 2	4 grilles - mur sur ▮▮▮▮▮▮▮▮▮▮
Simulation 3	1 grille - mur sud 3 grilles - mur est ▨▨▨▨▨▨▨▨▨▨
Simulation 4	3 grilles - mur nord 2 grilles - mur ouest ▧▧▧▧▧▧▧▧▧▧
Simulation 5	4 grilles - mur nord ▩▩▩▩▩▩▩▩▩▩



RÉSULTATS

c) Impact des stratégies de ventilation sur le confort thermique des occupants



Indice de vote moyen prévisible (PMV)

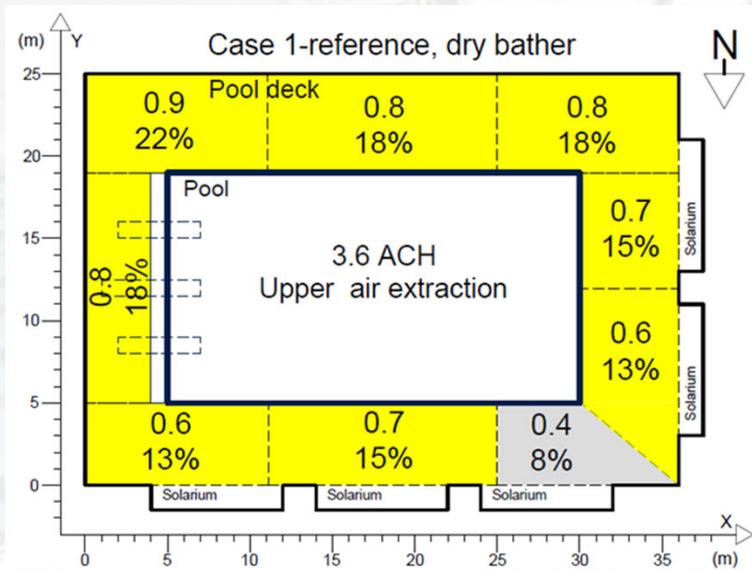
$$PMV = \left[0,303 e^{(-0,036 Q_{meta})} + 0,028 \right] \times \Omega$$

$$\begin{aligned} \Omega = & Q_{meta} - 3,96 \times 10^{-8} f_{vet} \left[(T_{vet} + 273)^4 - (\bar{T}_{rad} + 273)^4 \right] \\ & - f_{vet} h_c (T_{vet} - T_{air}) \\ & - 3,05 (5,73 - 0,007 Q_{meta} - P_{air}) - 0,42 (Q_{meta} - 58,15) \\ & - 0,0173 Q_{meta} (5,87 - P_{air}) - 0,0014 Q_{meta} (34 - T_{air}) \\ & - \left[\frac{w(P_{peau,sat} - P_{air})}{1 / (f_{vet} h_e)} \right] \end{aligned}$$

RÉSULTATS

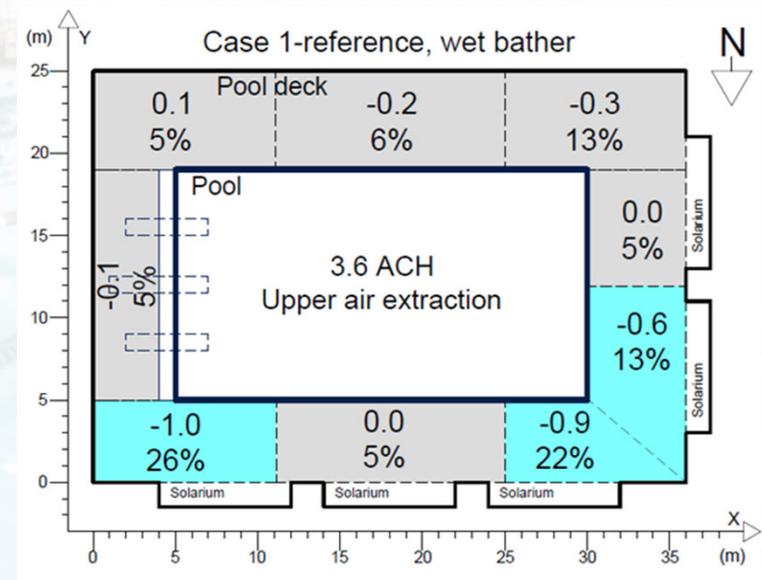
c) Impact des stratégies de ventilation sur le confort thermique des occupants

Baigneur à la peau sèche

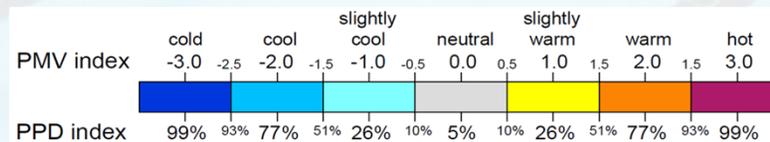


Légèrement trop chaud et optimal

Baigneur à la peau mouillée



Optimal et légèrement trop frais

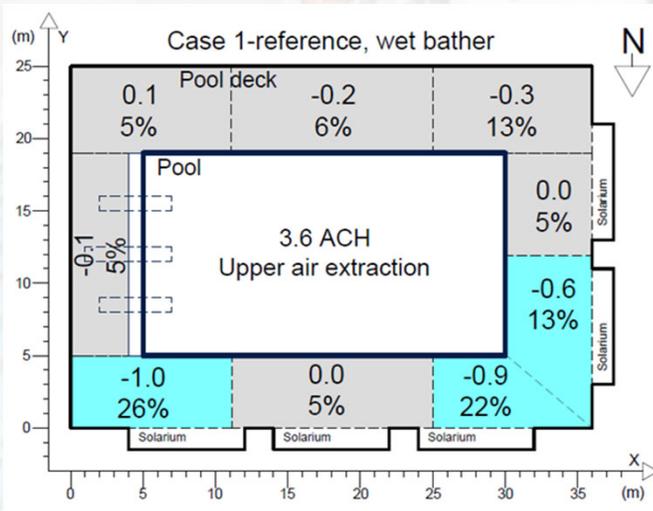


RÉSULTATS

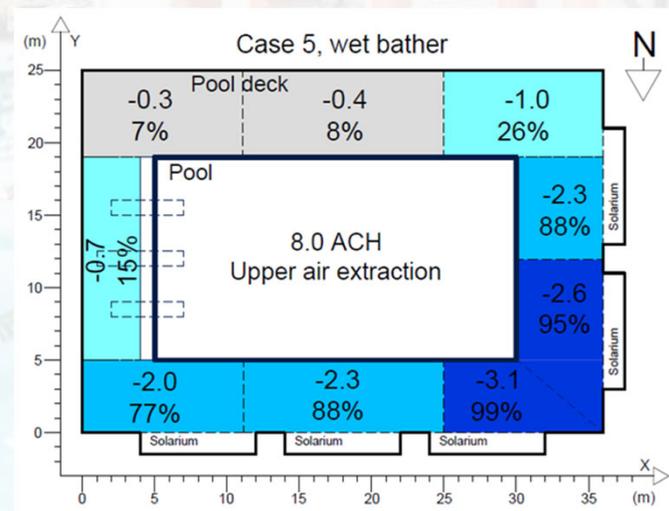
c) Impact des stratégies de ventilation sur le confort thermique des occupants

3,6 CAH: Baigneur à la peau mouillée

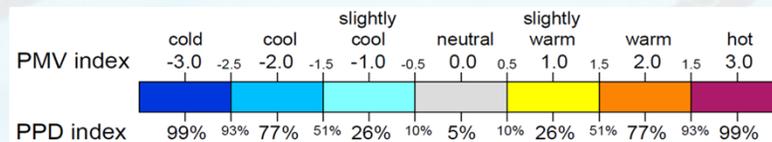
8 CAH: Baigneur à la peau mouillée



Optimal et légèrement trop frais



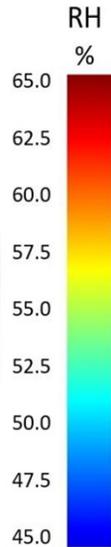
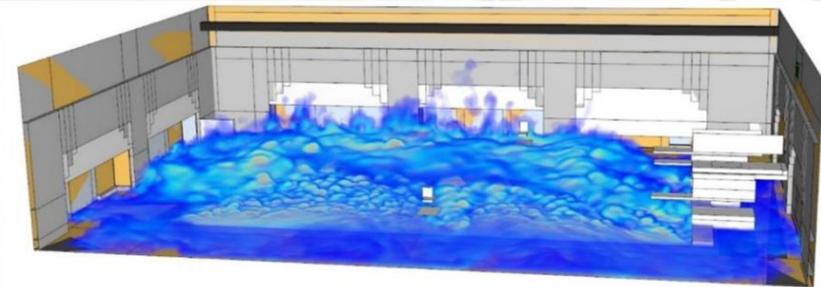
Optimal, légèrement trop frais, trop frais et trop froid



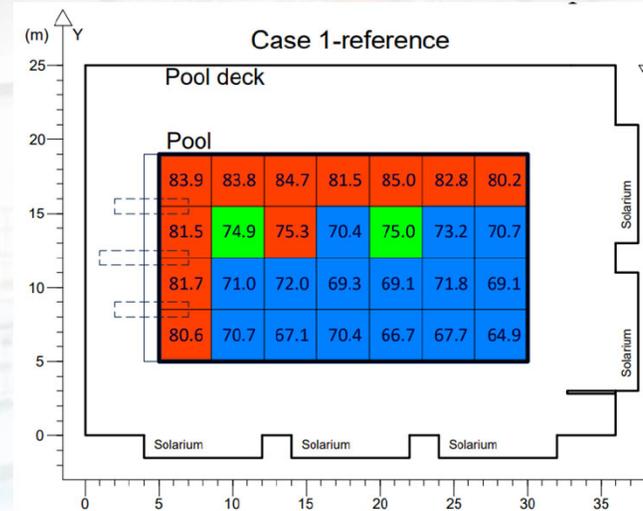
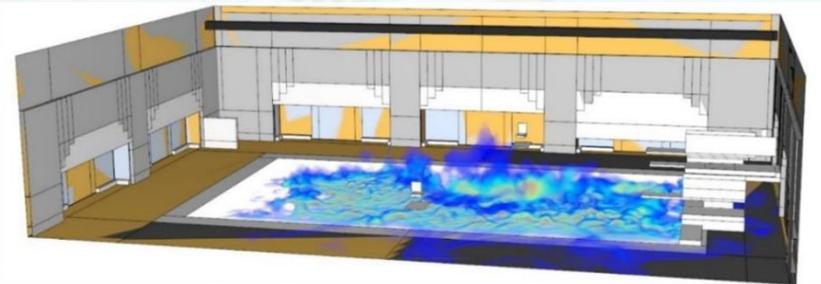
RÉSULTATS

Évaporation d'eau à la surface du bassin

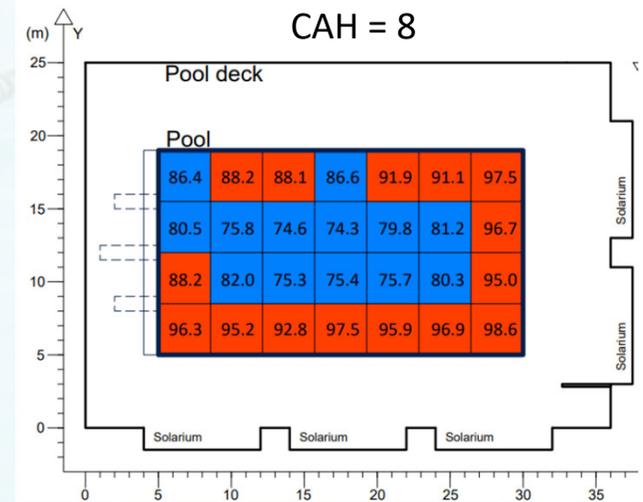
Cas de référence (CAH = 3,6)



CAH = 8



$$\dot{m}_{eau} = 74,8 \text{ g/hm}^2$$



$$\dot{m}_{eau} = 87,1 \text{ g/hm}^2$$

+16%

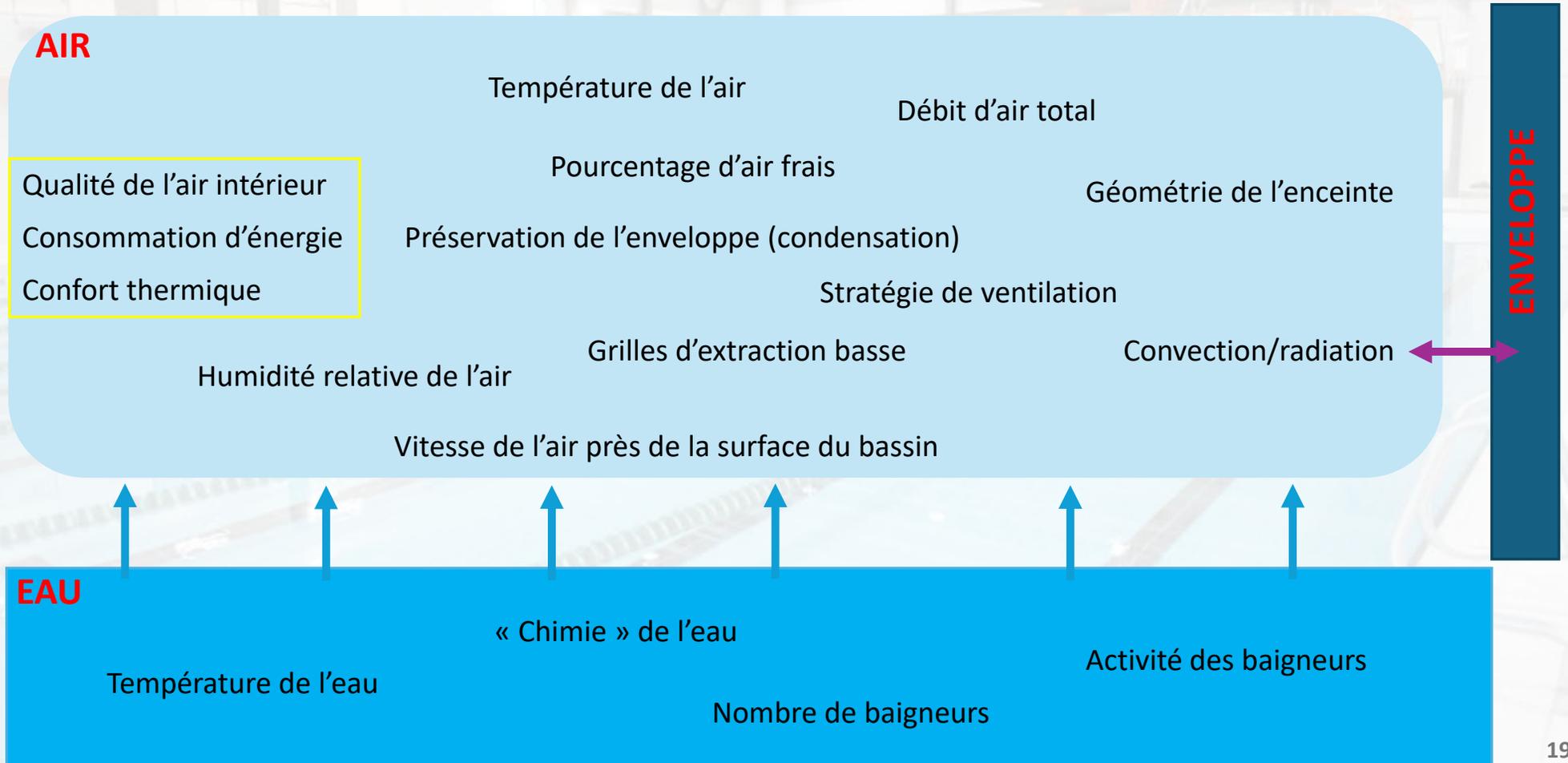
CONCLUSION

- Une augmentation de **l'apport d'air extérieur**:
 - entraîne une **réduction du NCl_3** dans toutes les zones de respiration
 - mais ne prévient pas l'accumulation de NCl_3 dans les zones de respiration basses.
- Une augmentation du **nombre de changements d'air par heure**:
 - entraîne une **réduction du NCl_3** dans les **basses zones** respiratoires
 - entraîne une **augmentation du NCl_3** au niveau des spectateurs.
- L'ajout de **grilles d'extraction basses**:
 - **affectent la distribution** du NCl_3 dans l'espace
 - la **position** de ces grilles d'extraction basse est un **paramètre déterminant** du succès de cette stratégie.

CONCLUSION

- Il est possible de **réduire l'exposition au NCl_3** dans toutes les zones de respiration à condition que la **disposition** des grilles d'extraction ainsi que le **ratio « extraction basse/extraction totale »** soient optimaux.
- En tenant compte de la peau mouillée, le confort thermique des baigneurs se tenant debout sur la plage est **significativement diminué** lorsque le **CAH est augmenté**.
- L'augmentation du CAH entraîne **une légère augmentation** du taux d'évaporation à la surface du bassin.

CONCLUSION



REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier **l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST)** pour leur contribution financière à ce projet



 **irsst** Fédérateur de connaissances pour éclairer l'action en santé et en sécurité du travail

RAPPORT SCIENTIFIQUE

Développement de stratégie visant à contrôler le niveau de contamination des piscines par les sous-produits de désinfection

Rapport de recherche synthèse

Maximilien Debia¹, Elham Ahmadpour¹, Isabelle Valois¹, Sami Haddad¹, Robert Tardif¹, Stéphane Hallé², Héléne Proulx², Manuel Rodriguez², François Proulx², Ianis Delpla³, Jean Sérodes⁴, Sabrina Simard⁴

RS-1185-fr

¹ Centre de recherche en santé publique, Département de santé environnementale et santé au travail, Université de Montréal, ² Ecole de technologie supérieure, ³ Chaire de recherche en eau potable, Université Laval