

Ventilation naturelle double-flux

santé & énergie au cœur de la conception architecturale

Natürliche Zwei-Wege-Lüftung Gesundheit & Energie im Zentrum der architektonischen Gestaltung

Ralph BADEN

La ventilation vue sous l'angle de la qualité de l'air intérieur
Lüftung aus der Sicht der Raumluftqualität

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion

02.07.2025

©RSB

La ventilation sous l'angle de la qualité de l'air intérieur

Die Lüftung unter dem Gesichtspunkt der Innenraumluftqualität

- cadre réglementaire européen actuel
 - Liens avec les polluants chimiques de l'air intérieur
 - La VMC et la QAI
 - Conclusion: améliorer les pratiques et les performances
-
- Aktueller europäischer Gesetzesrahmen
 - Zusammenhang mit chemischen Innenraumschadstoffen
 - Lüftung und IAQ
 - Schlussfolgerung : Verbesserung der Praktiken und der Effizienz

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion

DPEB / EPBD



Journal officiel
de l'Union européenne

FR
Série L

2024/1275

8.5.2024

DIRECTIVE (UE) 2024/1275 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL

du 24 avril 2024

sur la performance énergétique des bâtiments

(refonte)



Amtsblatt
der Europäischen Union

DE
Reihe L

2024/1275

8.5.2024

RICHTLINIE (EU) 2024/1275 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES

vom 24. April 2024

über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

(Neufassung)

Dispositions en matière de qualité de l'environnement intérieur (articles 1,2,5,7,8,13,20,23 & annexes)

- Définition de la **Qualité de l'Environnement Intérieur QEI**
- **Optimiser la QEI dans les bâtiments nouveaux et rénovés** dans le cadre des exigences de performance énergétique minima (MEPR – minimum energy performance requirements)
 - Dispositif de mesures et de contrôles de la QAI
- Intégration du monitoring de la QEI dans les systèmes de contrôles automatiques des bâtiments (BACS - building automatization control systems)

Dispositionen zur Innenraumqualität IEQ (Artikel 1,2,5,7,8,13,20,23 & Annexen)

- Definition der **Innenraumluftqualität**
- **Optimisieren der IEQ in neuen und renovierten Gebäuden** im Zusammenhang mit den energetischen Mindestanforderungen (MEPR – minimum energy performance requirements)

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

- Vorkehrungen zu Messungen und Kontrollen der IAQ

Grande Région | Großregion

- Integrierung des Monitorings der IAQ in die der automatisierten Kontrollsysteme der Gebäude (BACS - building automatization control systems)

Définition QEI Article 2(66)

- QEI signifie le résultat de l'évaluation des conditions à l'intérieur du bâtiment qui influencent la santé et le bien-être des occupants, basées sur des paramètres tels que:
 - ✓ température,
 - ✓ humidité,
 - ✓ taux de ventilation et
 - ✓ présence de polluants
- La réglementation de la QEI est à charge des Etats Membres

Definition IAQ Artikel 2(66)

- IEQ bedeutet das Ergebnis der Bewertung der Innenraumbedingungen, welche die Gesundheit und das Wohlbefinden der Gebäudenutzer beeinflussen, basierend auf Parametern wie:
 - ✓ Temperatur,
 - ✓ Feuchtigkeit,
 - ✓ Lüftungsrate und die
 - ✓ Präsenz von Schadstoffen

Interreg



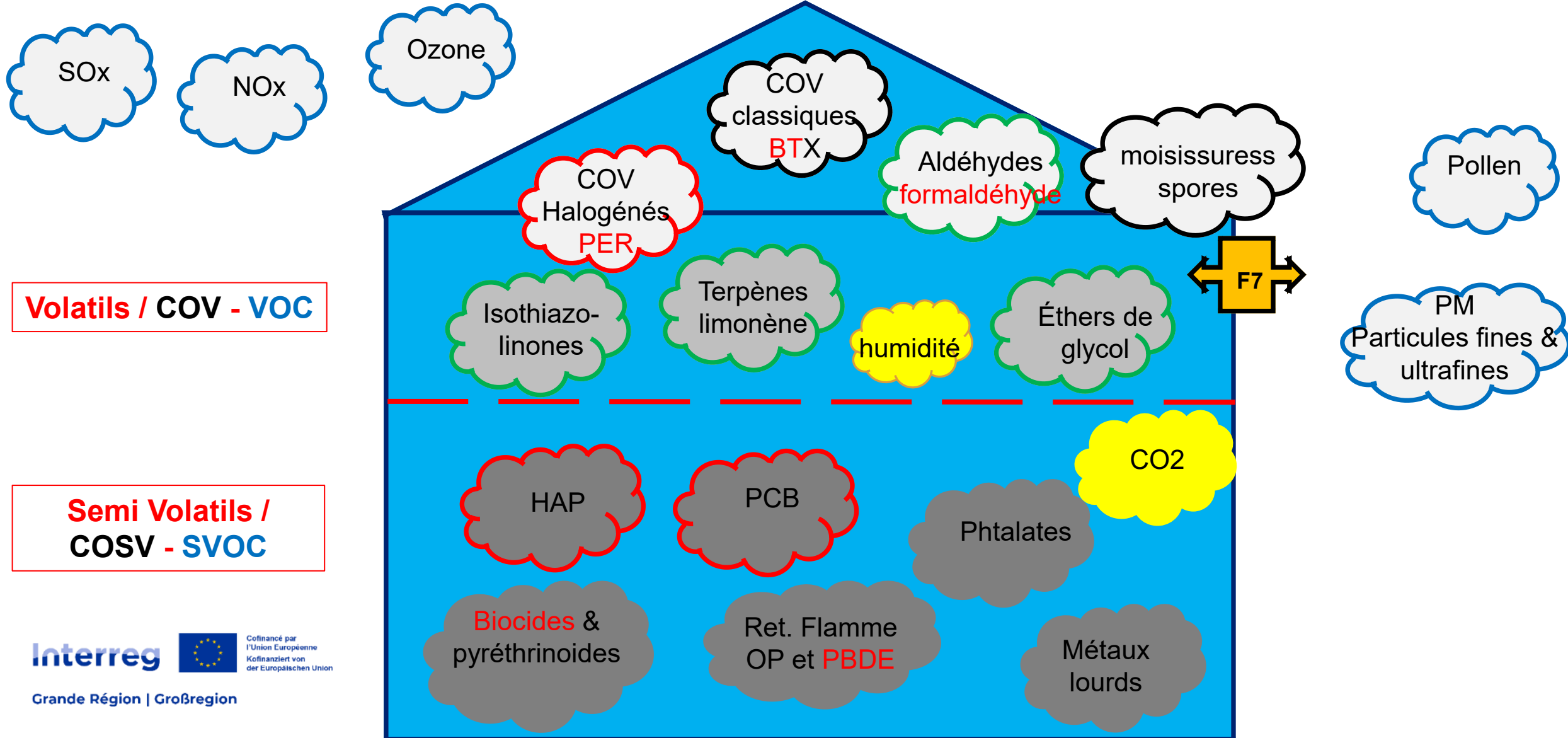
Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion

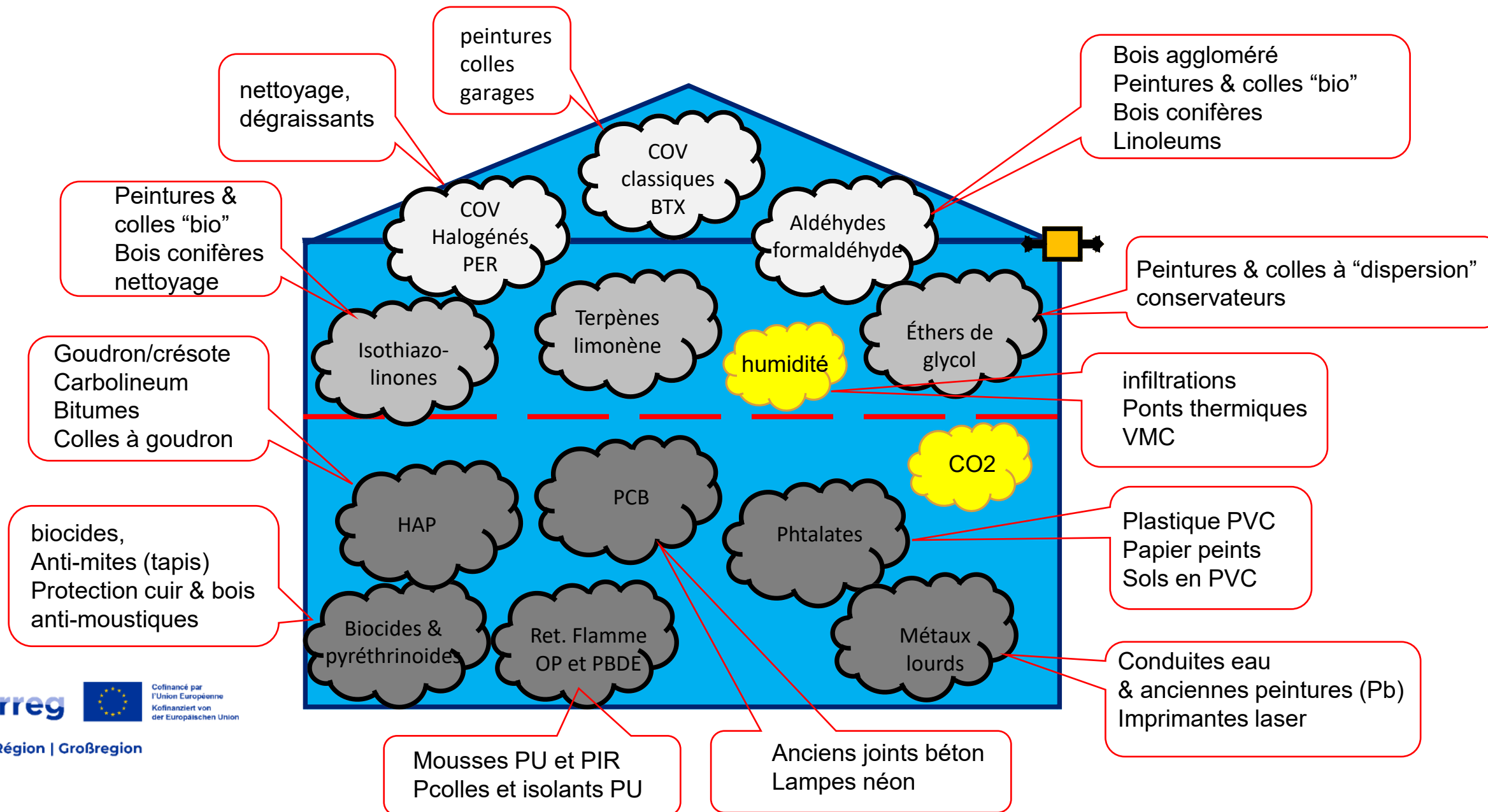
- Die Reglementierung der IEQ fällt unter die Verantwortung der Mitgliedstaaten

Les polluants chimiques «indoor»

Chemische Innenraumschadstoffe



Les polluants chimiques «indoor» et les sources



Polluants chimiques réglementés et non réglementés

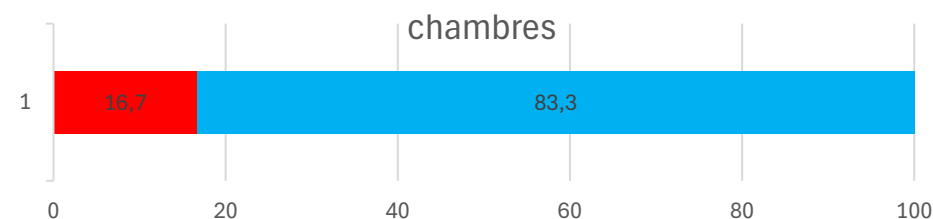
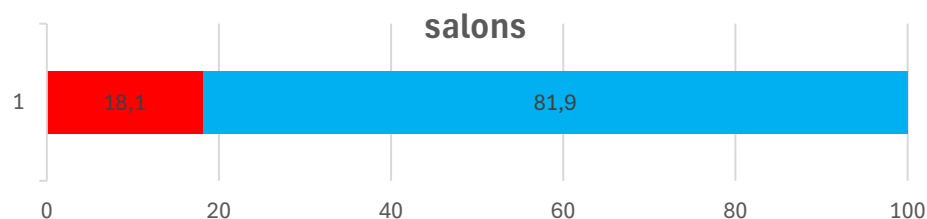
Reglementierte und nicht-reglementierte chemische Schadstoffe

Indoor Air quality Analysis of Newly built homes (Suzuki et al, 2019) sur 49 maisons neuves au Japon (COV et COSV)

Indoor Air quality Analysis of Newly built homes (Suzuki et al, 2019) in 49 Neuwohnungen in Japan (VOC und SVOC)

Proportions de composés **réglementés** et **non réglementés** constatées lors des mesures

Anteil an **reglementierten** und **nicht reglementierten** Schadstoffen die bei den Messungen gefunden wurden



Interreg



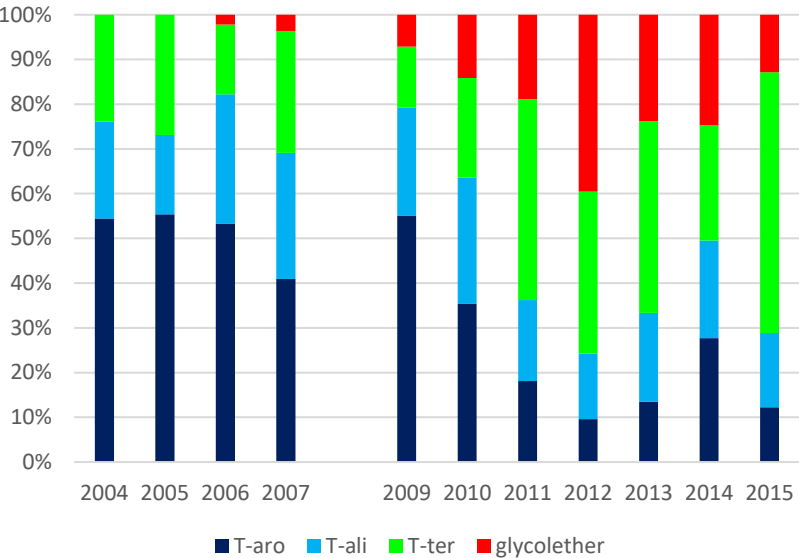
Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion

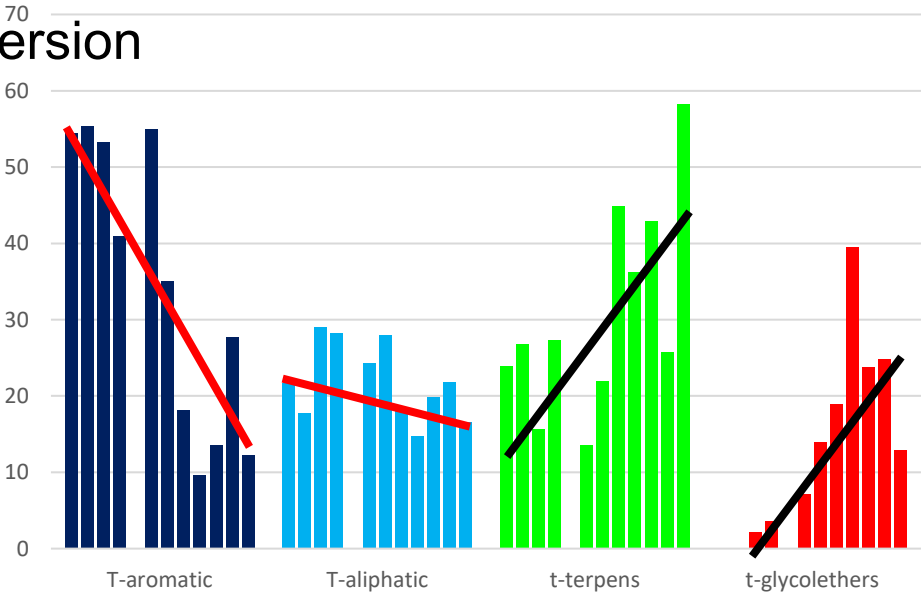
La réglementation : des peintures à solvants aux produits à dispersion

Reglementierung von lösemittelhaltigen zu Dispersionsfarben

Contamination par COV 2004-2015:
comparaison des différentes familles



COV aromatiques
COV aliphatiques
Terpènes
ethers de glycol
aldéhydes



		LD 50	SUVA	evaporation number
		mg/kg	mg/m³	dpe = 1
	Benzene*	930	1,6	3
	toluene	636	190	6,1
	xylenes	4300	435	17
	n-hexan	25000	180	1,4
	n-heptan	2100	1600	2,5
	limonene	470	40	>300
	pinenes	3700	-	>300
	butoxyethanol	470	49	163
	butoxyethylacetate	2400	66	250

Hodge & Sterner scale	LD 50 (rat oral)
<1 mg/kg	extremely toxic
1-50 mg/kg	highly toxic
50-500 mg/kg	moderate toxic
500-5000 mg/kg	slightly toxic
5000-15000 mg/kg	practically non toxic

Polluants indoor typiques ; surveillance dans les bâtiments luxembourgeois 2009-2015

Typische Innenraumschadstoffe : Routine in luxemburgischen Gebäuden 2009-2015

% > l.d.

100

90

80

70

60

50

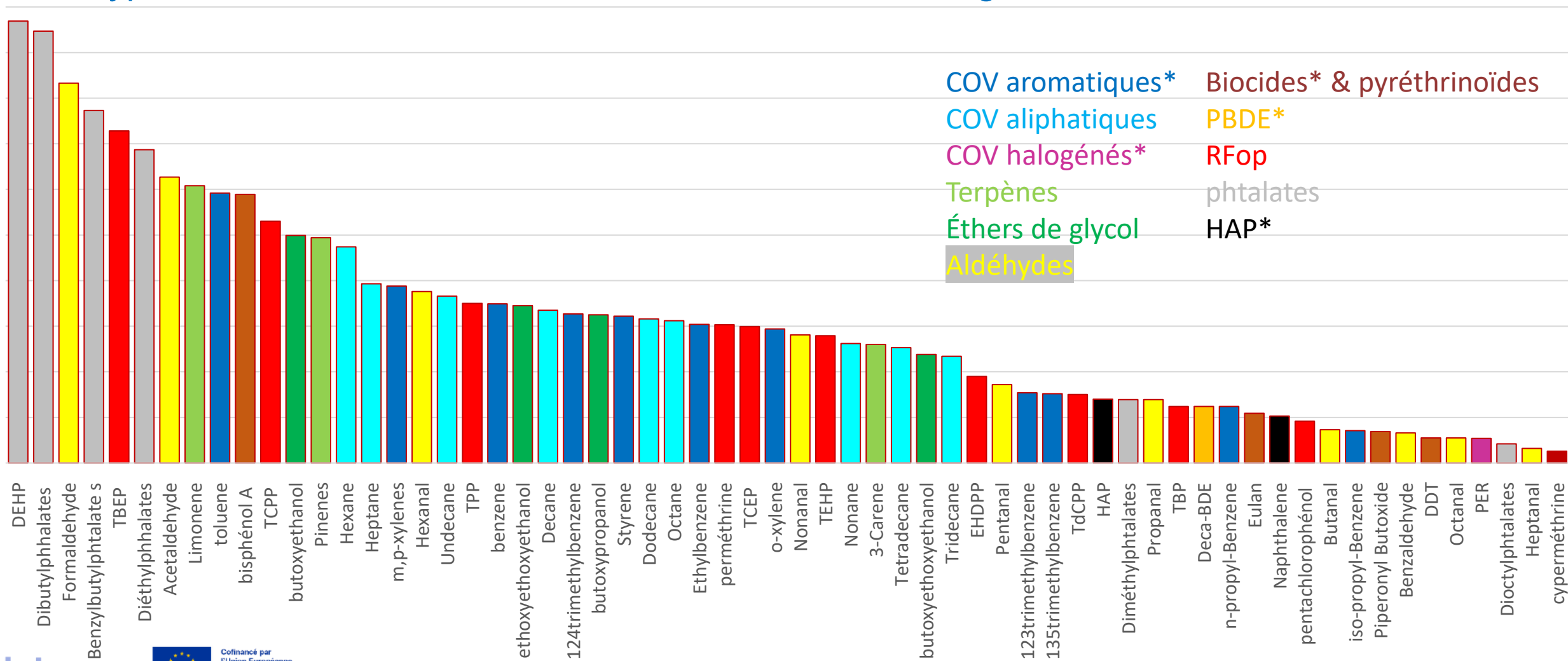
40

30

20

10

0



Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion

* Réglementé / reguliert

(n=441 buildings)

© ralph baden

La VMC et la QAI

Lüftung und Innenraumluftqualität

“Dilution is the solution to pollution”

???

“Dilution is the solution to pollution”

Etudes “oui” “ja”-Studien

Huang et al, 2020 : COV-concentrations moins élevées si VMC compare à aération naturelle
niedrigere VOC-Konzentrationen bei mechanischer im Vergleich zu natürlicher Lüftung

Hernandez et al, 2020 : COV de nouveaux meubles réduits plus rapidement et plus efficace avec VMC
Schnellere & deutlichere Reduzierung der VOC-Konzentrationen durch neue Möbel bei imechanischer Lüftung

Vernier et al, 2023 : VMC plus efficiente pour réduire les COV surtout en phase d’émission accrue (cuisiner)
mechanische Lüftung effizienter für VOC-Minimierung bei hohen Emissionen (Kochen)

Eudes “non” “Nein”-Studien

Heroux et al, 2008 : Quebec 96 bâtiments résidentiels; pas d’association entre concentration de COV et taux de ventilation
Quebec 96 Wohngebäude ; kein Zusammenhang zwischen VOC-Konzentrationen und Luftaustauschraten

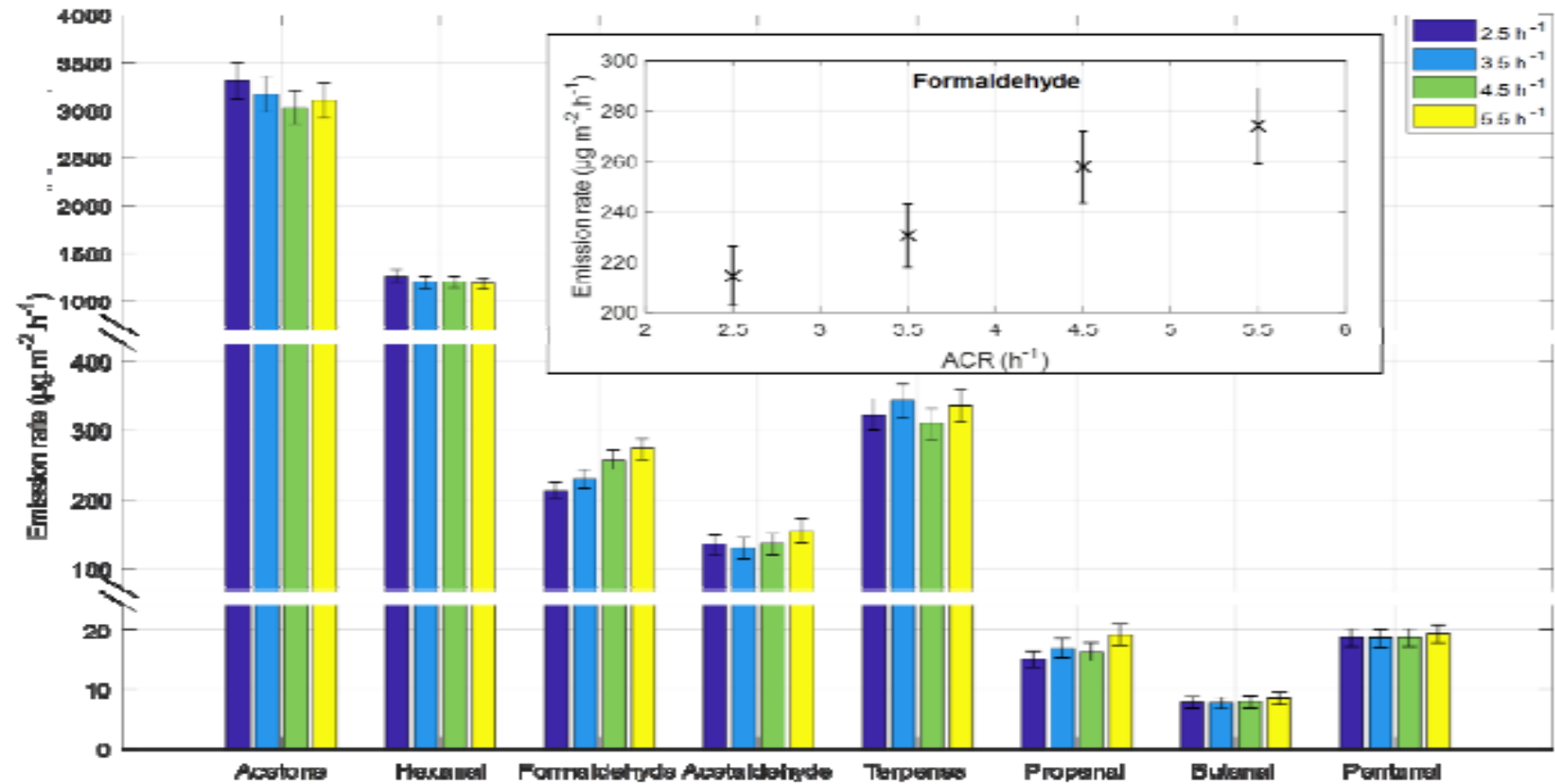
Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion

Alonso et al, 2021 : 4 écoles norvégiennes : absence de corrélation entre les taux de ventilation et 8 polluants
4 Schulen in Norwegen: kein Zusammenhang zwischen 8 Schadstoffen und Luftaustauschraten



Mesures de COV et formaldéhyde dans un magasin de sport en France ventilation **en marche** vs ventilation **éteinte**

Messungen von VOC und Formaldehyd in einem Sportgeschäft in Frankreich mit und **ohne** Lüftung

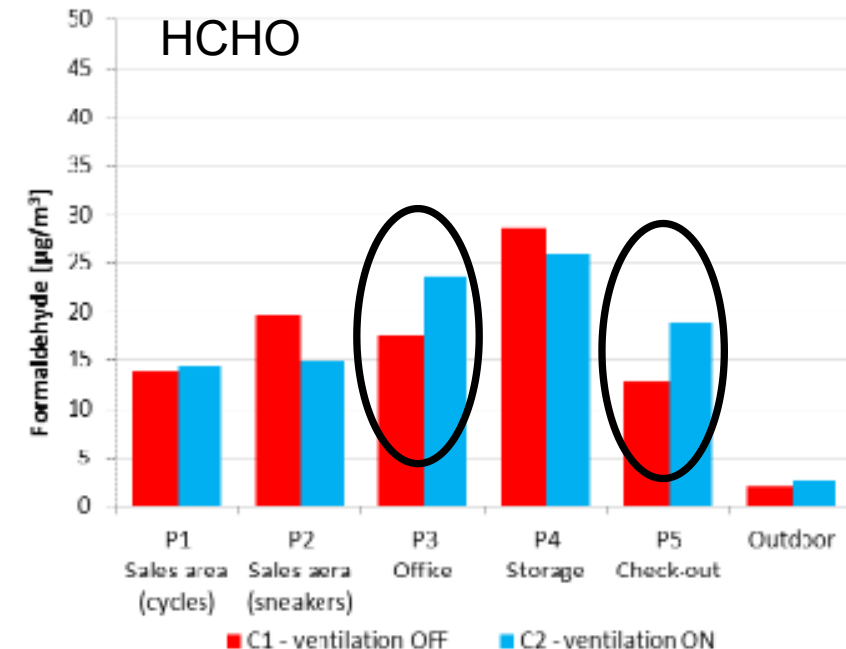
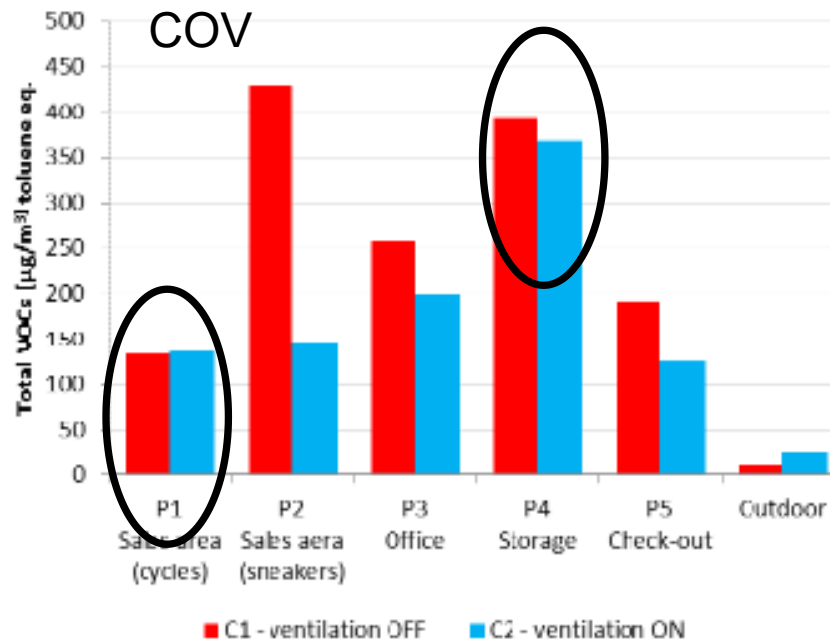


Figure 2. a) Total VOC concentrations and b) Formaldehyde concentrations for the two measurement campaigns without ventilation (C1) and with ventilation (C2)

Offermann et al, 2017: Emission rates of organic compounds in new homes ; Indoor environmental engineering, San Francisco, CA, USA

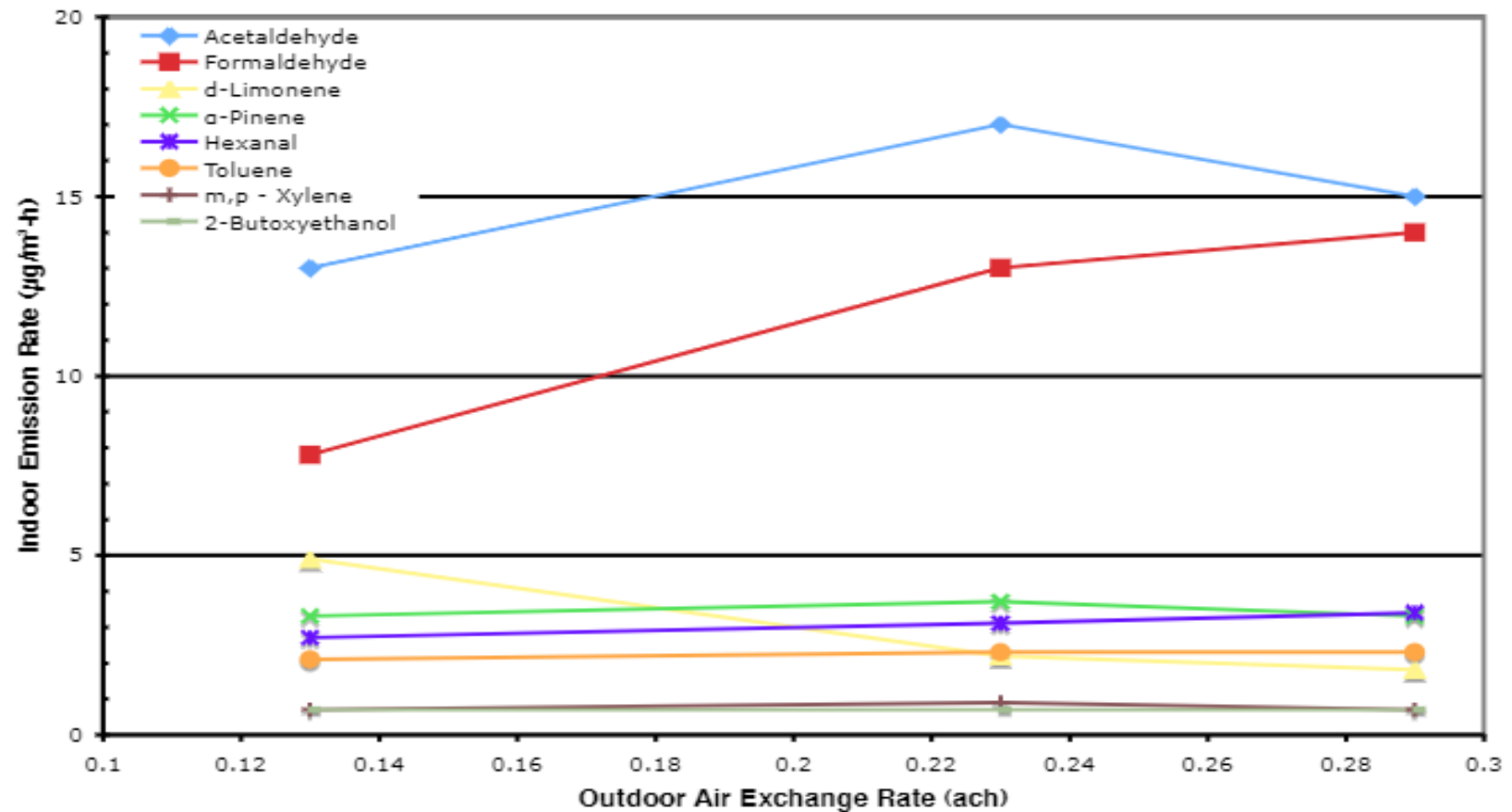
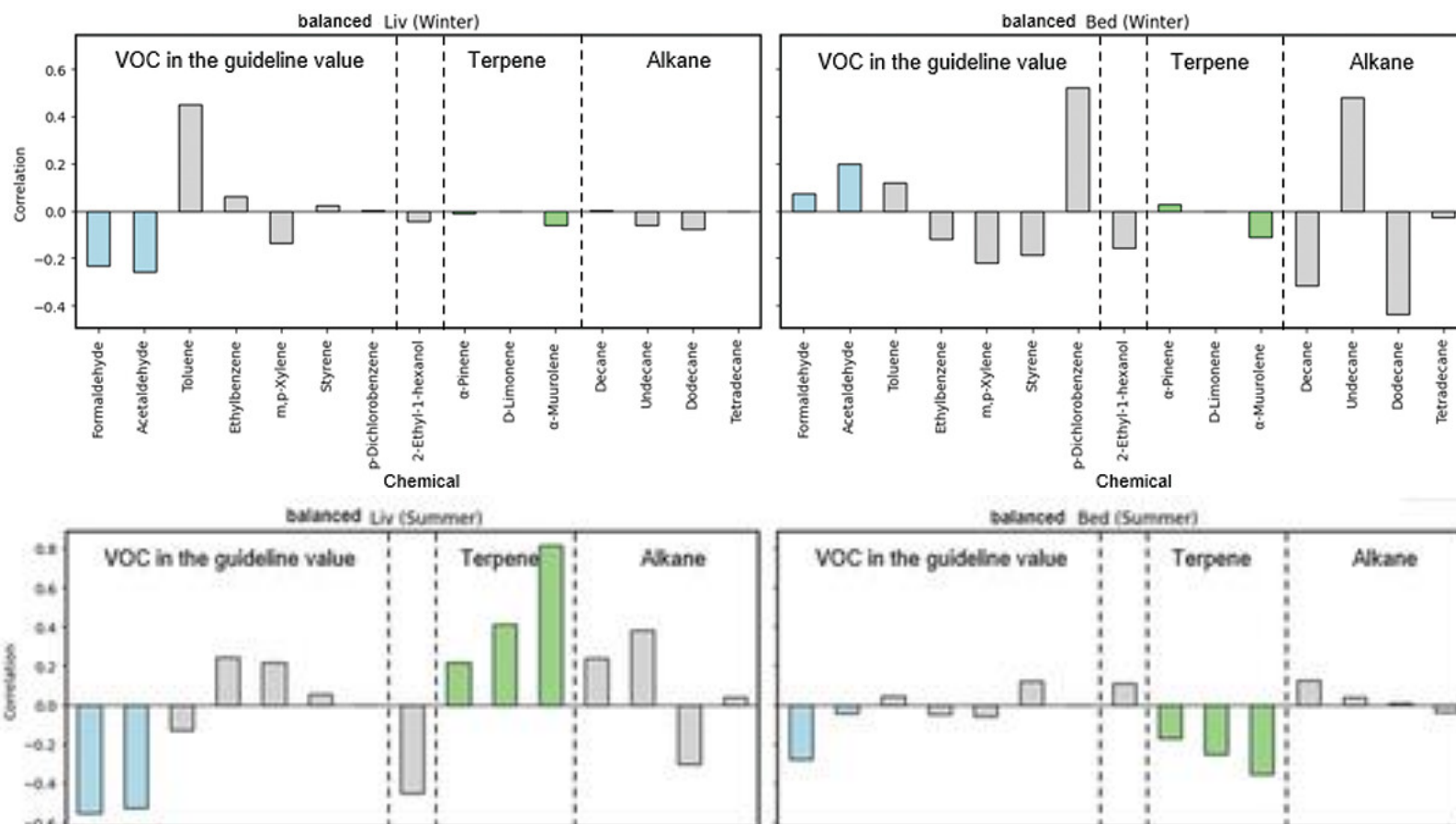


Figure 1. Plot of the emission rates of eight VOCs ($\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$) and outdoor air exchange rates for Home 033 during three consecutive 24-hour periods.

Park et al, 2025: Influence of mechanical ventilation systems on indoor VOC concentrations in residential buildings

- Analyses COV dans 33 maisons à Tokyo,
- [VOC-Analysen in 33 Häusern in Tokyo](#)
- 16 à systèmes conditionnement air central (balanced ventilation) – chauffage/refroidissement avec renouvellement air
- [16 mit HVAC-Systemen \(balanced ventilation\) – heizen/kühlen mit Frischluftzufuhr](#)
- 17 à ventilateur extracteur d'air (unbalanced ventilation) – sans apport d'air frais
- [17 mit Abluftventilator \(unbalanced ventilation\) – ohne Frischluftzufuhr](#)



Analyses dans une salle de classe ventilée en fonction du taux de ventilation (juill 23)

Analysen in einem gelüfteten Klassensaal mit unterschiedlichen Lüftungsraten /July 23)

Salle de classe 63 m²
26 personnes (adultes)
VMC **25** m³/h pers (am) vs **30** m³/h pers (pm)

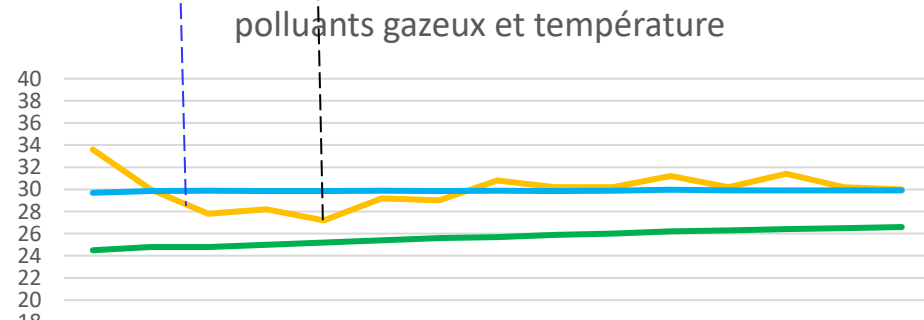
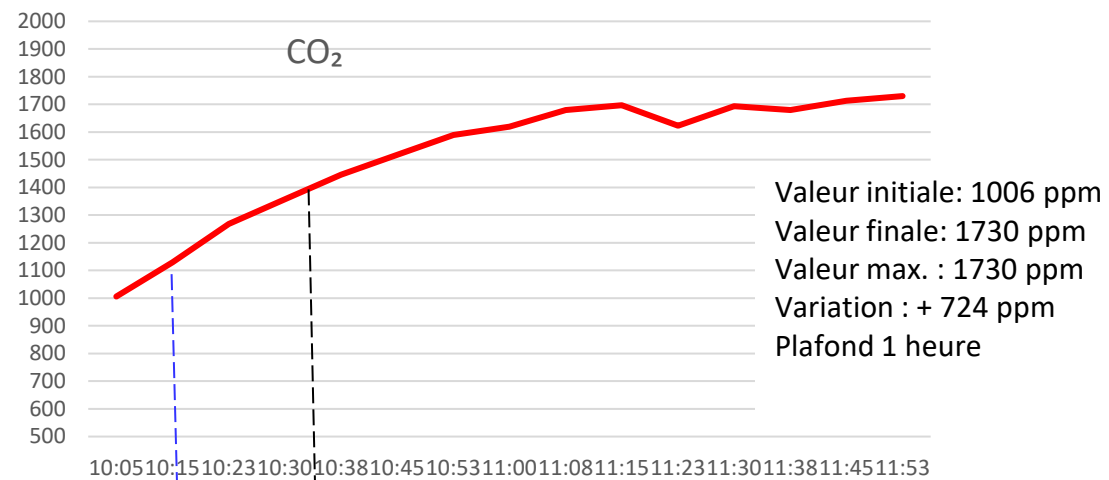
Klassensaal 63 m²
26 Personen (Erwachsene)
Lüftung **25** m³/h Pers (am) vs **30** m³/h Pers (pm)

	salle 205 am	salle 205 pm
	25m ³ /h	30m ³ /h
unité	µg/m ³	µg/m ³
COVT	128	124
aliphates	1	15
alcools	9	6
cétones	83	57
terpènes	10	3
éthers glycol	14	22
siloxanes	10	4
aldéhydes	131	83

COV
VOC

substance	hall	205 am	205 pm	
		25m ³ /h	30m ³ /h	val.orient.
unité	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
acétone	32	79	56	161
méthyléthylcétone	3,1	4.1	1	33
propylèneglycol	<	<	19	14
formaldéhyde corrigé (23%; 45%)	24	30	19	30
acétaldéhyde	12	22	8.8	54
propanal	6,3	11	5.3	14
butanal	3,3	5.5	2.4	10
pentanal	3,1	5.3	2	20
hexanal	10	20	9.1	55
octanal	2	3	4	8
nonanal	3	6	9	19
décanal	2	3	8	7
benzaldéhyde	3	4	4	15
furfural	10	12	5	4
acide acétique	77	75	42	

VMC **25** m³/h Pers



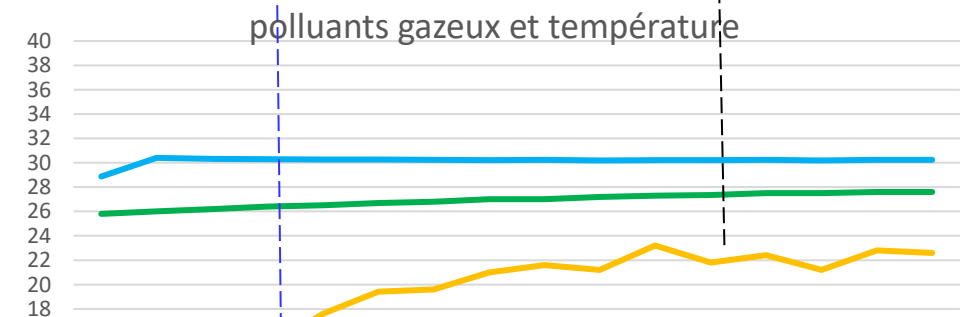
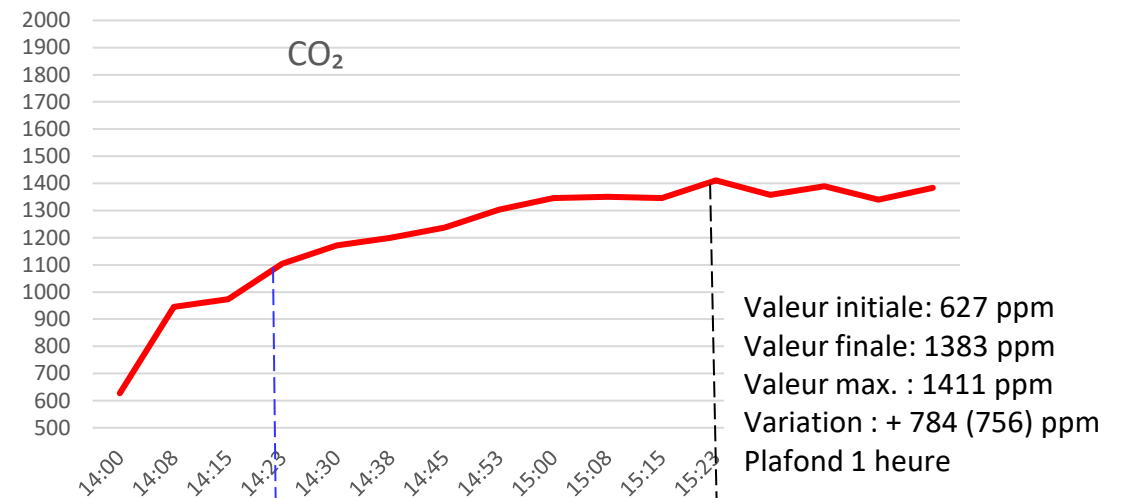
Grande Région | Großregion

10:05 10:15 10:23 10:30 10:38 10:45 10:53

— HCHO

CO ₂ / HCHO	AM (25 m ³ /hxp)	PM (30m ³ /hxp)
1100	30	15
1400	27	21

VMC **30** m³/h Pers.



— HCHO — COVT — t°

14:00 14:08 14:15 14:23 14:30 14:38 14:45 14:53 15:00 15:08 15:15 15:23 15:30 15:38 15:45 15:53

Contaminations chimiques des composantes chemische Belastungen der Lüftungskomponenten



Gaine verte : DEHP 140 mg/kg
Solution: gaine métallique
Grünes Rohr : DEHP 140 mg/kg



mousse : TdCP 7400 mg/kg
Schaumstoff : TdCP 7400 mg/kg

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion

Contaminations chimiques des composantes chemische Belastungen der Lüftungskomponenten



où	quoi	ret flamme	phtalates
distribution air	gaine partie intérieure	<	DBP 15 mg/kg
distribution air PI	gaine partie intérieure	<	DEP 22 mg/kg DBP 30 mg/kg DEHP 7,6 mg/kg
distribution air PI	gaine partie extérieure	<	<
distribution air PI	gaine partie intérieure	<	DBP 11 mg/kg DEHP 5,9 mg/kg
distribution air LTM	gaine partie extérieure	<	<
distribution air LTM	gaine partie intérieure	<	<
distribution air DPL	gaine partie intérieure	TCPP 5,7	<
distribution air DPL	gaine partie intérieure	<	<
distribution air OR	gaine partie extérieure	<	DBP 29 mg/kg DEHP 6,1 mg/kg
distribution air OR	gaine partie intérieure	<	DBP 38 mg/kg DEHP 7,8 mg/kg
distribution air TB	gaine partie extérieure	<	DBP 54 mg/kg
distribution air TB	gaine partie intérieure	<	DBP 54 mg/kg
distribution air RP	gaine PI	<	DBP 17 mg/kg DEHP 52 mg/kg



gaine: dibutylphtalate 10 mg/kg
poussière : dibutylphtalate 27,5 mg/kg

Lüftungsrohr: Dibutylphthalat 10 mg/kg
Hausstaub: Dibutylphthalat 27,5 mg/kg

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion

VMC - source de pollution ?

Lüftungsanlagen - Verursacher von Belastungen?



Interreg



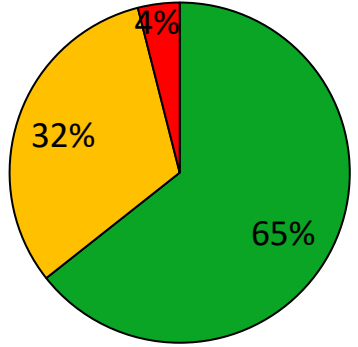
Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion

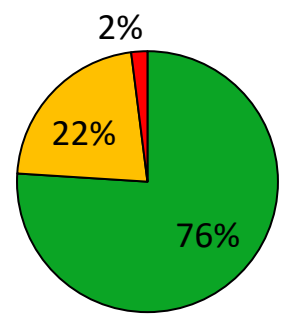
Hygiène microbiologique de ventilations mécaniques (ét. allem, sur 387 VMC construites entre 1970-2010)

Mikrobiologische Hygiene von Lüftungsanlagen (deutsche Studie mit 387 Anlagen, gebaut 1970-2010)

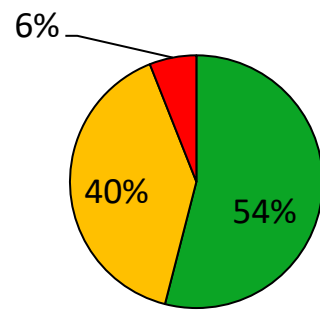
toutes VMC confondues



nouvelles VMC



anciennes VMC



S. Horn, Hygieneinstitut Ruhrgebiet 2011

■ bonnes ■ limites ■ insatisfaisantes

< 25 cfu/25cm2
25-100 cfu/25cm2
>100 cfu/25cm2



- La VMC a ses limites dans l'amélioration de la QAI
- Die mechanische Lüftung ist eingeschränkt in Bezug auf Innenraumluftqualität
- La VMC = source potentielle de pollution, notamment en absence d'entretien adéquat
- Die mechanische Lüftung kann unter Umständen aktiv zu Schadstoffbelastungen beitragen, zum Beispiel bei mangelnder Wartung



- **Systèmes de ventilation alternatifs peuvent constituer une vraie alternative**
 - **Alternative Lüftungssysteme können interessante Varianten darstellen**
-

- La VMC ne constitue pas un moyen de purification; éviter le problème à la source
- Lüftungsanlagen sind kein Mittel zur Reinigung der Raumluft; Verursacher vermeiden
- Ne pas se limiter à la réglementation existante ; Inclure les substances non réglementées et les COSV
- Sich nicht auf die bestehende Reglementierung beschränken; nicht reglementierte Substanzen und SVOC berücksichtigen

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion



- **liste des polluants de la QAI à améliorer -> Protocoles (HOM'AIR)**
- **Schadstoffliste aktualisieren und harmonisieren -> Protokolle (HOM'AIR)**

“Dilution as the solution to pollution ...

“ ... is an illusion”

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion

Merci, Danke, thank you

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion

02.07.2025

25

Ventilation naturelle double-flux

santé & énergie au cœur de la conception architecturale

Natürliche Zwei-Wege-Lüftung Gesundheit & Energie im Zentrum der architektonischen Gestaltung

Giampiero RIPANTI

Chloé ZORDAN

Rosny-Sous-Bois

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion

Retours d'expérience architectes & ingénieurs

Erfahrungsberichte von Architekten und Ingenieuren

02.07.2025

©RSB

26

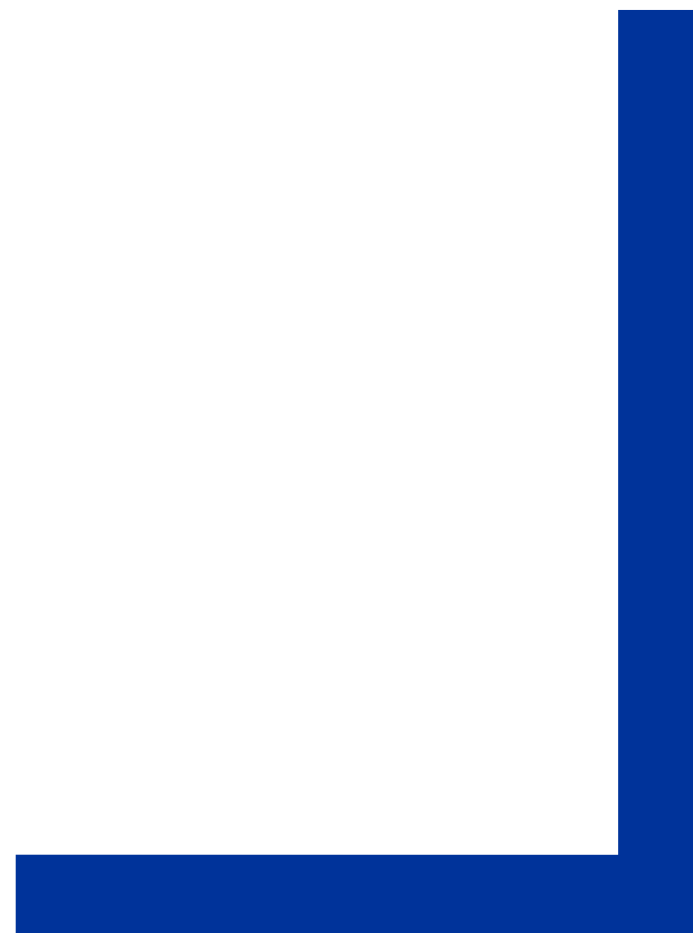


Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion



Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Grande Région | Großregion

02.07.2025

28