

CSTB
le futur en construction

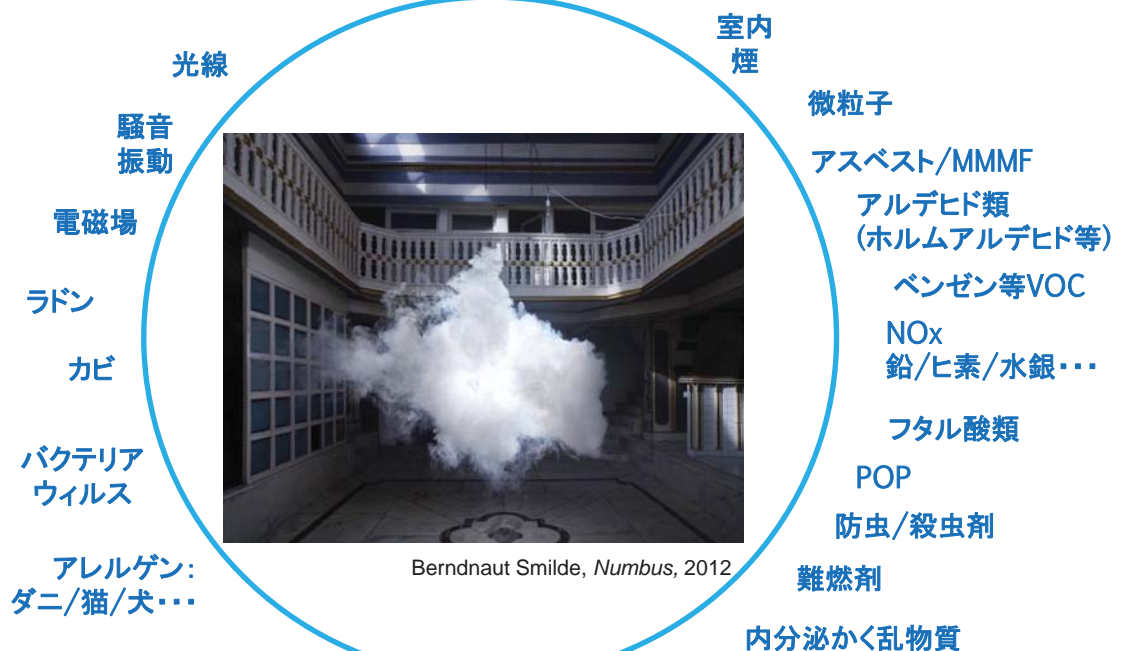


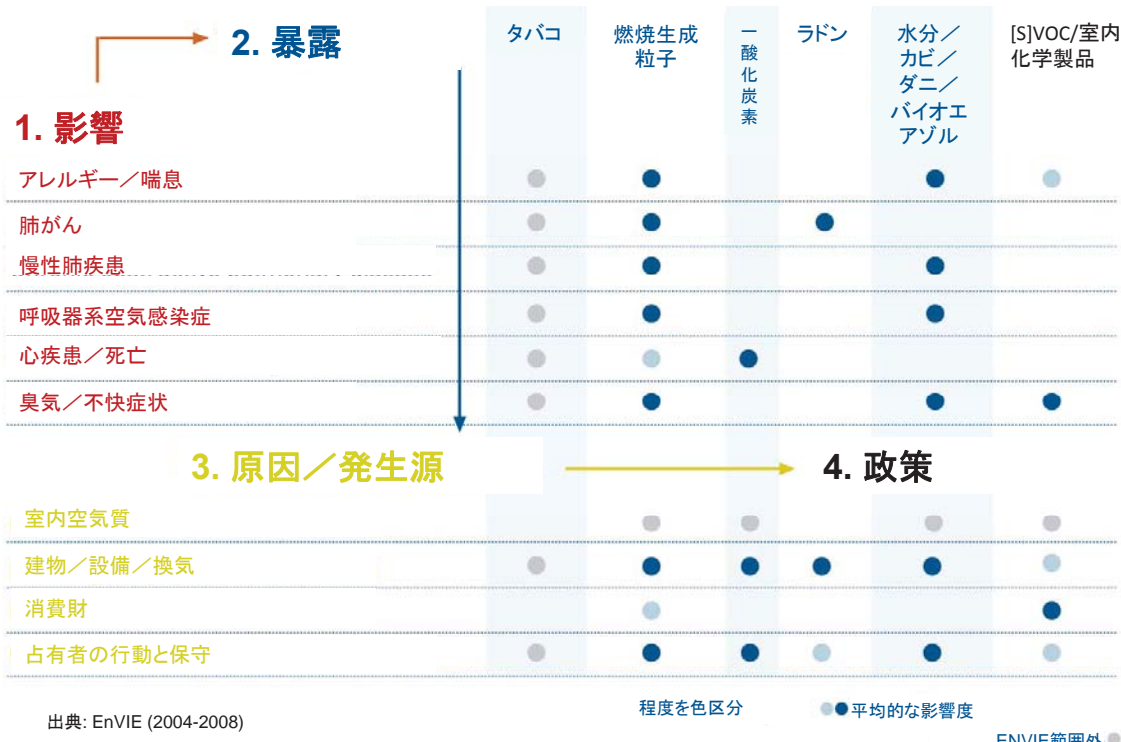
室内空気質

2014年12月9日 日仏建築会議
www.cstb.fr / www.oqai.fr

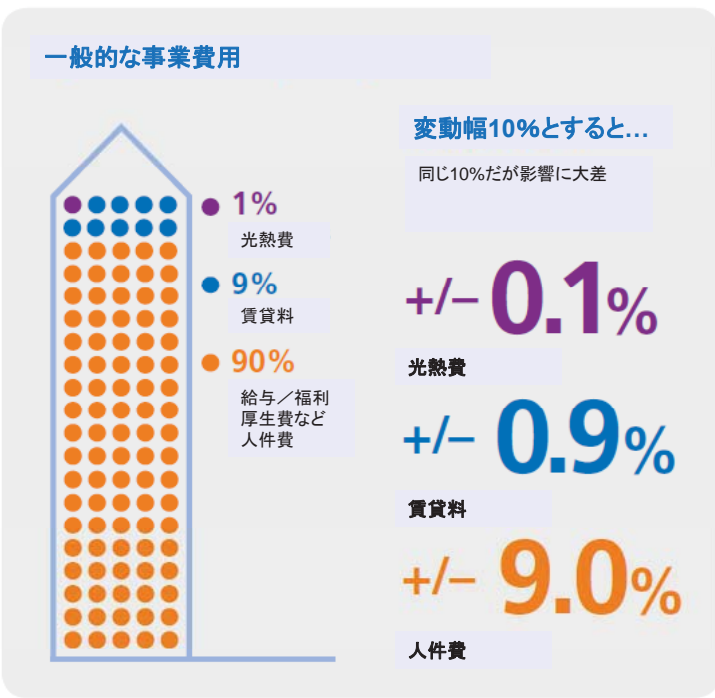
CSTB
le futur en construction

コンセプト：「エクスポゾーム」





建物運用コスト

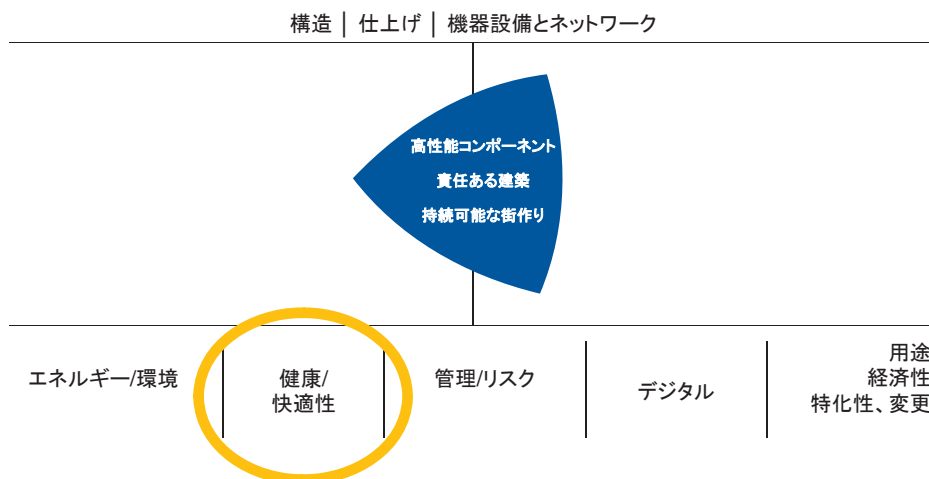


4%
気温低下による能率低下

6%
気温上昇による能率低下

5つの科学/技術的優先課題

CSTB – 組織としての活動や手段の配置によって3つの戦略的テーマを実施
5つの科学/技術的優先課題を統合レベル2つで実施



科学/技術的な優先課題 健康/快適性 屋内外の環境の改善



危機の防止

リスクの特性化

イノベーションを促進

解決法の発見



IAQ管理 バクテリア (*Legionellae*), カビ (*ergosterol, mycotoxins, MVOC*), ウィルス, 揮発性物質、有機化合物、半揮発性有機化合物、微粒子...

• 空気感染微生物 - 定量分析方法の開発: 分子生物学、化学/生物汚染物、微量検出

→ 例: カビセンサ

- アスベスト
- 汚染土壌/ラドン
- 建築材料や製品による化学汚染
- 新たな「衛生的」製品の開発

新たなリスク パンデミックの発生と建物
建物のナノ生成物
内分泌かく乱物質

**生物的/
化学的リスクに
関する知見** 室内空気の物理化学的反応性
呼吸器系ウィルス暴露決定要因
医療機関におけるシュードモナス菌
省エネ建築における地熱利用/
微生物リスク評価



Observatoire de la qualité de
l'air intérieur

Observatory of indoor air quality (OQAI)

IAQと快適性の 全仏モニタリングネットワーク

2001年創立

• 国家規模で室内環境に関する科学的知見を
取りまとめ/開発 ⇒ 政策を支援

- 建物/設備
- 居住者の行動
- 室内空気質(化学/物理/微生物)
- 快適性(騒音/温度/明るさ)

• 助成金 - 年間180万-250万ユーロ

関連省(建設/環境/保健),
フランス環境・エネルギー管理庁(ADEME)
フランス食品環境労働衛生安全庁(ANSES)
CSTB

• ガバナンス: 運営委員会、科学審議会、
諮問委員会、コーディネータ(CSTB)

• 自治体との科学パートナーネットワーク

6プログラム

- 住宅
- 学校/保育所
- オフィスビル
- 省エネ建築
- IAQ管理ツール
- コミュニケーション/トレーニング/啓蒙





Observatoire de la qualité de l'air intérieur

OQAIによる全仏調査

住宅 2003-2005

(n = 567) IAQ



学校 (n=300) 2013-2017

IAQ/遮音/明るさ/温度/知覚された快適性



オフィスビル (n=300) 2013-2017

IAQ/遮音/明るさ/温度/知覚された快適性/SBS



省エネ建築 2013...

IAQ/遮音/明るさ/温度/知覚された快適性



Observatoire de la qualité de l'air intérieur

全仏住宅調査

567住宅/住民1612名/4691室

1週間調査
(7日間)

2003年10月-2005年12月

世帯データ
(社会経済的状況、活動、時間別行動パターン...)

建築データ
(外部環境、材料、製品、設備等)

測定対象
CO、VOC、ラドン、PM、カビ、犬猫アレルギー、ダニ、CO₂、T、RH、空気流量





Observatoire de la qualité de l'air intérieur

全仏調査 学校の室内環境

300棟-600教室

調査対象: 建築資材、換気、暖房装置 ...

- NO₂
- VOC13種、アルデヒド3種
- 空気中 COsV46種/塵埃中 COsV46種
- 塵埃中 - 6金属
- 塗料/塵埃中の鉛
- PM_{2.5} 質量濃度と量
- アレルゲン - 犬、猫、マットレスのダニ
- カビ汚染 - mVOCベース

- 電磁場

- 遮音/明るさ
- 温度/相対湿度
- CO₂

占有者: 活動、時間別行動パターン、
清掃状況等 + 知覚された快適性



Observatoire de la qualité de l'air intérieur

省エネ建築の室内空気質と快適性

プロトコルの調和化



IAQ

換気

快適性



学校

オフィス

住宅

新築/リフォームによる省エネ建築

建築データ収集
(官民合意による)

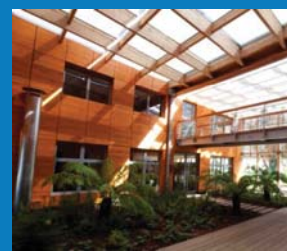
省エネ建築のIAQと
快適性に関する
全仏データベース





Observatoire de la qualité de
l'air intérieur

科学から実践へ



13



Observatoire de la qualité de
l'air intérieur

要対応の優先課題 注目される主要パラメータは？

健康度ランク – 濃度、毒物学的許容暴露値、毒性に基づく(2001, 2005, 2010)
1000以上の物質/微粒子を測定

住宅

15 優先物質

ホルムアルデヒド
ベンゼン
一酸化炭素
フタル酸ビス(2-エチルヘキシル) (DEHP)
アクロレイン
鉛
アセトアルデヒド
微粒子(PM₁₀ / PM_{2.5})
カドミウム
ヒ素
ベンゾ[a]ピレン
ベンゾ[a]アントラセン
1,4-ジクロロベンゼン
クロロホルム

学校

6 優先物質

ホルムアルデヒド
ベンゼン
アセトアルデヒド
PM₁₀ / PM_{2.5}
クロム

オフィスビル

5 優先物質

ベンゼン
PM_{2.5}
PCB (ポリ塩化ビフェニル)混合物
エチルベンゼン
ホルムアルデヒド

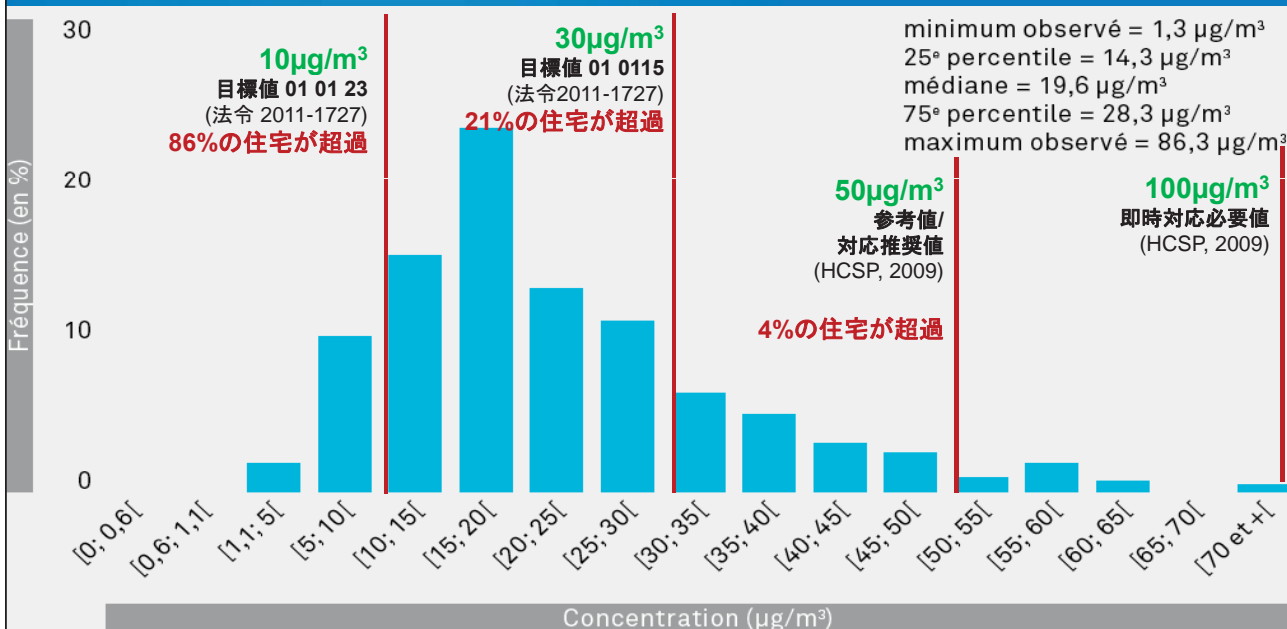
出典: Almeras et al, 2010



住宅：仏住宅ストックにおける汚染物質の分布

Observatoire de la qualité de l'air intérieur

ホルムアルデヒドの場合：仏住宅における濃度分布 (N = 2400万戸)



Observatoire de la qualité de l'air intérieur

住宅：IAQ決定要因

汚染発生源



換気



屋外環境



建物

併設車庫
 新築住宅
 新規建材/仕上げ材
 水被害

居住者&活動

居住者数
 喫煙
 DIY
 キャンドル/焚香
 ドライクリーニング
 古いマットレス

換気

空気交換回数
 換気システムの設計と
 保守
 窓の開閉

屋外環境

空気
 土壌
 気候帯 (温度と湿度)

汚染物質-世帯所得に関連



Observatoire de la qualité de l'air intérieur

学校のIAQ指標

LUM'AIR® : CO₂ 濃度を基準とする学校/保育施設の換気評価/管理総合ツール

- Index ICONE : 0から5までで評価
- 信号表示



| ICONEスコア | CO ₂ 測定結果 | CO ₂ 濃度/停滞度 |
|----------|--------------------------------|----------------------------|
| 0 | 常に1000 ppm未満 | 新鮮空気(CO ₂ 停滞なし) |
| 1 | 3回中1回が1000 ppm以上 1700 未満 | 低 |
| 2 | 3回中2回が1000 ppm以上1700未満 | 中 |
| 3 | 3回中2回が1000 ppm以上で1回は1700 ppm以上 | 高 |
| 4 | 3回中2回が1700 ppm以上 | かなり高い |
| 5 | 常に1700 ppm以上 | 非常に高い |



Observatoire de la qualité de l'air intérieur

IAQの社会経済的コスト： 仏における現時点での推定値

6つの主要物質: CO, ラドン, ETS + ベンゼン, TCE, PM_{2,5}

| 1. 外部コスト | 2. 財政への影響 |
|--|-----------------|
| 1.1 死亡 (損失余命価値 = €115,000, Quinet, 2013) | 2.1 医療費 |
| 1.2 罹患 | 2.2 研究費 |
| 1.3 生産性ロス | 2.3 年金不払い(「利益」) |

6主要汚染物質の年間コスト(100万ユーロ)

| ベンゼン | TCE | ラドン | CO | 微粒子 | ETS |
|------|-----|-------|-----|--------|-------|
| 883 | 39 | 2,694 | 308 | 14,331 | 1,279 |



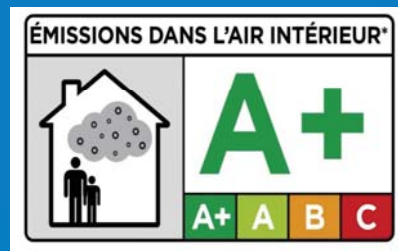
室内空気汚染に関する年間コスト=全仏で推定約200億ユーロ
微粒子のコストが最大 - 年間14億ユーロ



Observatoire de la qualité de l'air intérieur

政府の支援 排出源規制

- 禁止化合物：カテゴリCMR 1および2の仕上げ製品使用(トリハロエチレン、ベンゼン、フタル酸: DBP, DEHP)
- 建築製品にVOC排出量に基づいたラベル表示を義務付け



| Classes | C | B | A | A+ |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Formaldéhyde | >120 | <120 | <60 | <10 |
| Acétaldéhyde | >400 | <400 | <300 | <200 |
| Toluène | >600 | <600 | <450 | <300 |
| Tétrachloroéthylène | >500 | <500 | <350 | <250 |
| Xylène | >400 | <400 | <300 | <200 |
| 1,2,4-Triméthylbenzène | >2000 | <2000 | <1500 | <1000 |
| 1,4-Dichlorobenzène | >120 | <120 | <90 | <60 |
| Éthylbenzène | >1500 | <1500 | <1000 | <750 |
| 2-Butoxyéthanol | >2000 | <2000 | <1500 | <1000 |
| Styrène | >500 | <500 | <350 | <250 |
| COVT | >2000 | <2000 | <1500 | <1000 |



公共施設 - IAQモニタリングを義務付け

○ 7年に1度 – 制限値超過の場合は1年おき

○ 必須測定項目

認定機関による測定

- ベンゼン
- ホルムアルデヒド
- 換気 (CO₂ 停滞度)
- テトラクロロエチレン (ドライクリーニング業の場合)



または

- 汚染防止対策が取られている場合
→ 測定はオプション

- IAQ管理ガイドライン

○ 室内換気評価の義務

今後の予定

2018年1月：託児所、保育/幼稚園、小学校

2020年1月：娯楽施設、中学/高校

2023年1月：医療施設、刑務所、プール



第3次フランス環境健康行動計画 (2014年11月)

- アスベストに関するロードマップ
- ラドン/鉛/ナノ物質等に対する行動計画
- カギとなる官公庁や民間団体/組織の情報
- 空気汚染物質を放出する製品を対象としたラベル制度の開発
- 温度管理に関する奨励策の策定と法規制の変更
- 知見の拡充



CSTB
le futur en construction

日仏の協同を さらに発展させるために

フランスからの提案

- 1 | 両国のこれまでの主な政策と実績を学びあう
- 2 | CSTBと日本の研究機関の間の研究者交換
(英語を共通語とする)
- 3 | 革新的な日本企業に科学的知見と研究ノウハウを提供する

CSTB
le futur en construction

CSTB
le futur en construction



室内空気質

詳細は右記まで: Séverine Kirchner

severine.kirchner@cstb.fr

2014年12月9日 日仏建築会議
www.cstb.fr / www.oqai.fr

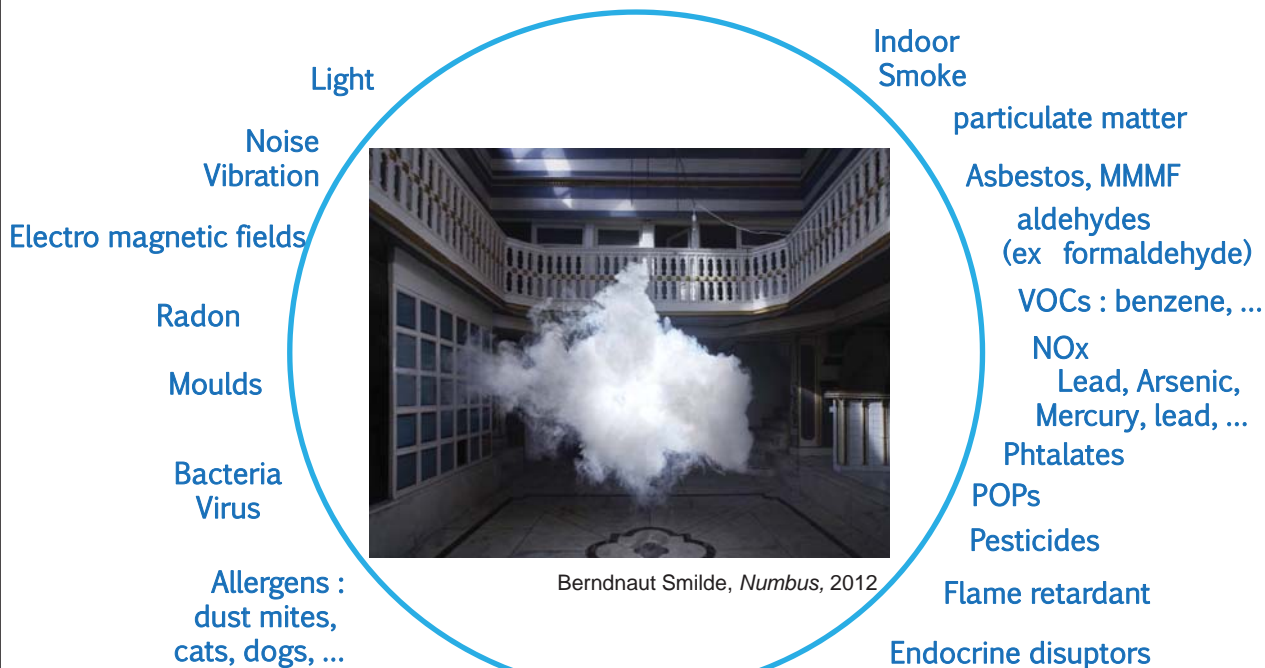


Indoor Air Quality

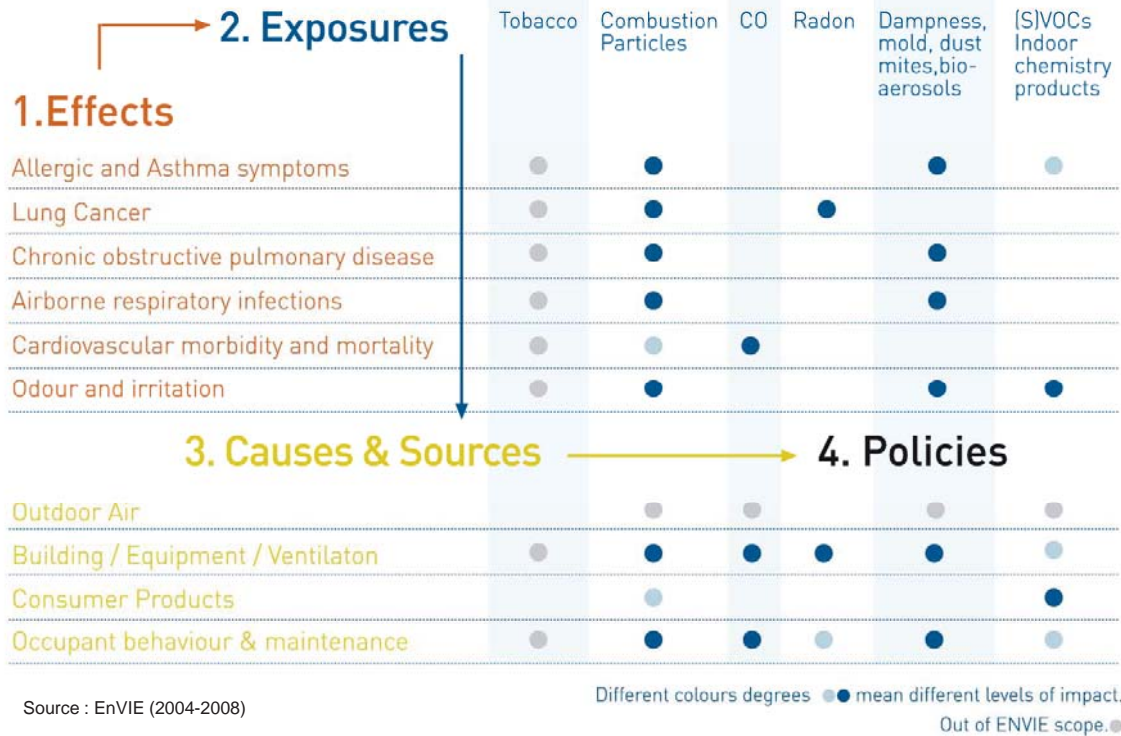
Séverine Kirchner

Japan France Colloquium December 9th 2014
www.cstb.fr / www.oqai.fr

Context: the concept of exposome

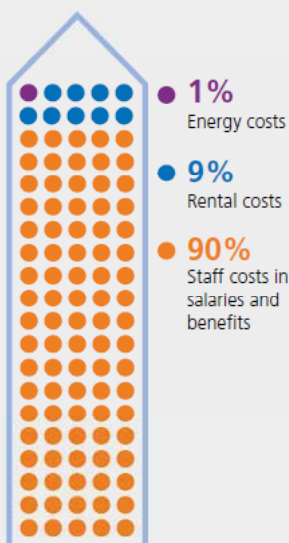


Context : from health effect to action



Context: operating costs in a building

Typical business operating costs¹



10% Variation

A 10% variation applied equally to each cost has a far from equal impact

+/- 0.1%

Energy costs

+/- 0.9%

Rental costs

+/- 9.0%

Staff costs

4%

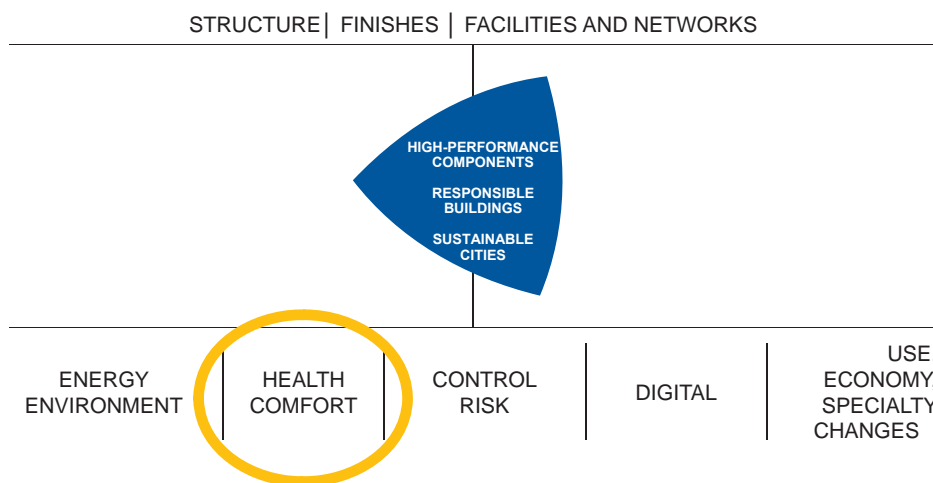
Reduction in performance at cooler temperatures.

6%

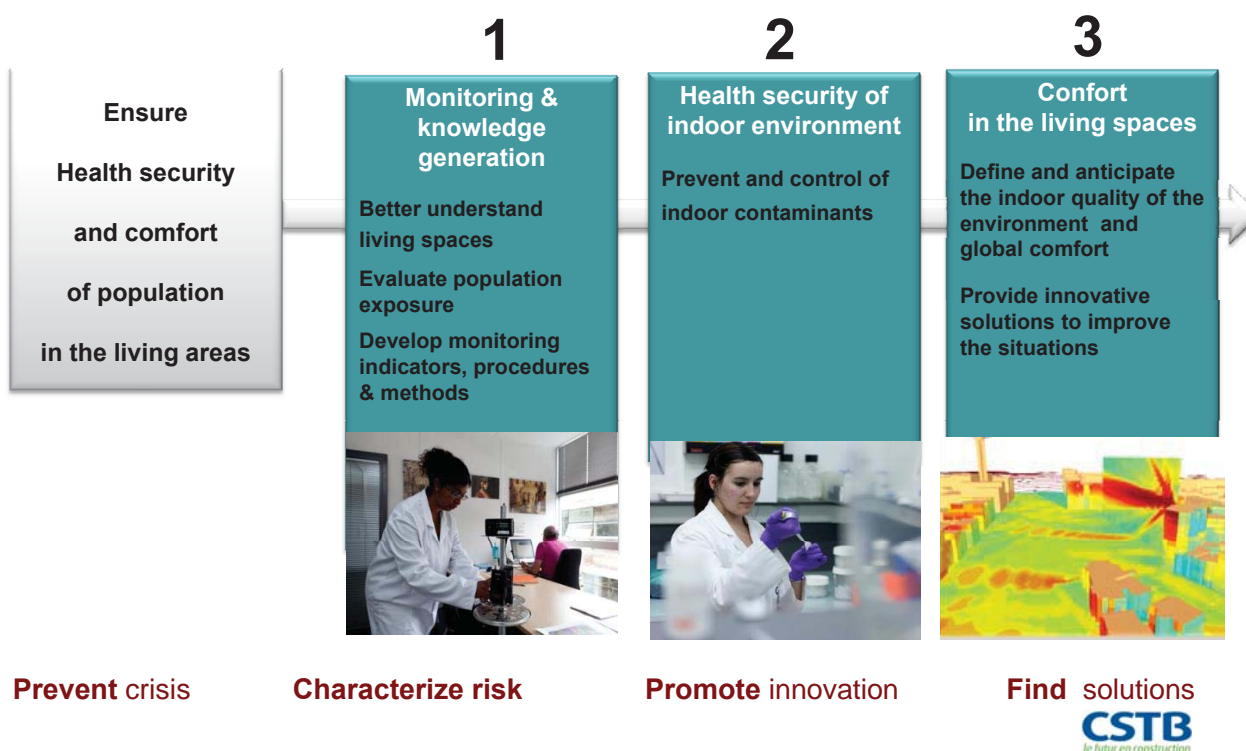
Reduction in performance at warmer temperatures.

5 scientific and technical priorities to achieve successful ecological and energy transition

CSTB implements these three strategic themes by organizing its activities and means around 5 scientific and technical priorities and 2 integration levels.



Health and comfort priority Improve outdoor and indoor environments



Research on Health safety of indoor environment






IAQ management *Bacteria (Legionellae), Molds (ergosterol, mycotoxins, MVOC), Viruses, Volatils organic compounds, Semi volatils organic compounds, Particulate matters ...*


- **Airborne biological entities - développement of metrology** : molecular biology, chemical and biological pollutants, micro detection
➡ ex. molds sensors
- **Asbestos**
- **Polluted soil / radon**
- **Chemical pollution from materials and products**
- **Development of new « hygienic » products**

Emerging risk **Pandemic situations and buildings**
Nano products in buildings
Endocrine disrupter

Knowledge on biological and chemical risks **Physico-chimical reactivity** in indoor air
Determinants of respiratory **viruses exposure**
Pseudomonas in **health institutions**
Use of **geothermal in energy efficient buildings** /microbiological risk assesment



Le futur en construction



Observatory of indoor air quality (OQAI), a national network for IAQ & comfort monitoring

Created in 2001


- To coordinate and develop **scientific knowledge on indoor environment on a national scale** supporting public policies
 - *Building and equipments*
 - *Occupants behaviors*
 - *Indoor air quality (chemical, physical, microbiological)*
 - *Comfort (noise, thermal, light)*
- **Public funding** between 1.8 – 2.5 million €/year

Ministries (Construction, Environment and Health),
National **Agencies** in charge of Energy and Environment (**ADEME**) and Food, environmental and occupational health and safety (**ANSES**)
CSTB

- **Governance:** Steering committee , Scientific council, advisory committee, Coordinator (**CSTB**)
- **Multidiciplinary scientific partner network**

6 Programmes

- Dwellings
- Schools and day-care centres
- Office buildings
- Energy efficient building
- IAQ management tools
- Communication, training, education





Observatoire de la qualité de l'air intérieur

OQAI's National surveys

Dwellings 2003-2005

(n = 567) IAQ



Schools (n=300) 2013-2017

IAQ, acoustic, light, thermal and perceived comfort



Office buildings (n=300) 2013-2017

IAQ, acoustic, light, thermal and perceived comfort, SBS



Low energy buildings 2013...

IAQ, acoustic, light, thermal and perceived comfort



Observatoire de la qualité de l'air intérieur

National survey on housing:

567 dwellings, 1 612 people, 4 691 rooms

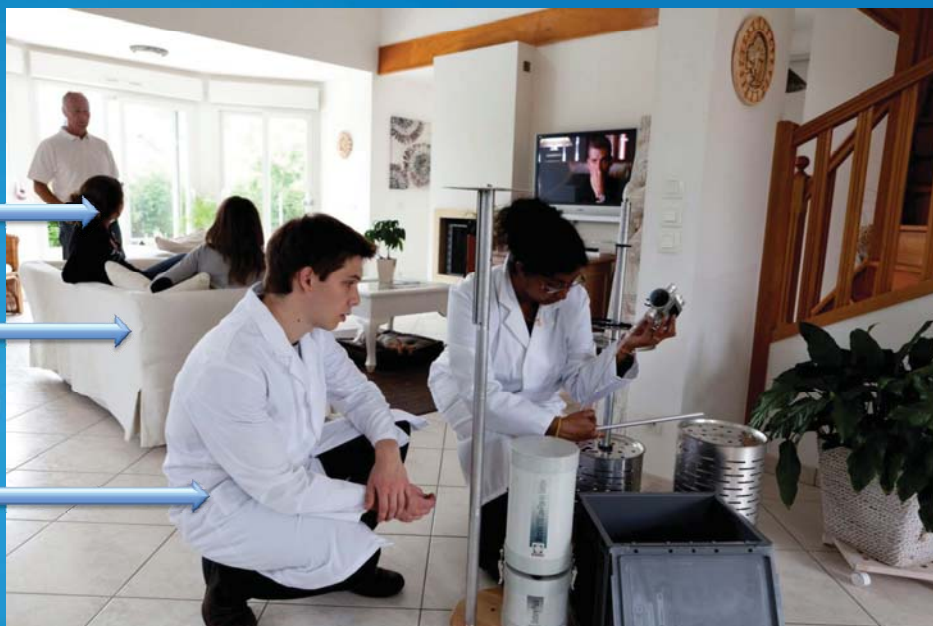
One week survey
(7 days)

oct 2003- dec 2005

Data on household
(socio-economical
statut, activities, Time
activity pattern ...)

Data on building
(outdoor environment,
materials, products,
equipments, etc.)

Measurements
CO, VOCs, radon, PM,
moulds, cats and dogs
allergens, dust mites,
CO₂, T, RH, airflowrate





Observatoire de la qualité de l'air intérieur

National survey on indoor environment in schools: 300 buildings - 600 classrooms

Building audit : building products, ventilation, heating devices, ...

- NO₂
- 13 VOC , 3 aldehydes
- 46 COsV in air, 46 COsV in dust
- 6 metals in dust
- Lead in paint and dust
- PM_{2,5} mass concentration and number
- Allergens dogs, cats, dust mites on mattress
- Mold contamination index based on mVOC

- Electro magnetic fields

- Noise and light levels
- Temperature and relative humidity
- CO₂

Occupants : activities, time activity patterns, cleaning activities, etc. + Perceived comfort



Observatoire de la qualité de l'air intérieur

Indoor air quality and comfort in energy efficient buildings

Harmonized protocols



IAQ Ventilation Comfort



New and renovated energy efficient buildings

Data collection in buildings (agreement with private and public operators)

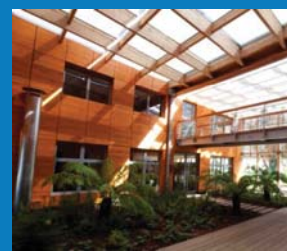
National database on IAQ and comfort in energy efficient buildings





Observatoire de la qualité de
l'air intérieur

From scientific results to actions



13



Observatoire de la qualité de
l'air intérieur

Prioritizing of needs

What are the main parameters of interest?

**Health-ranking score based on concentrations,
toxicological reference values exposure and toxicity (2001, 2005, 2010)**

More than 1000 chemical substances and particules

Dwellings

15 priority substances

formaldehyde,
benzene
Carbon monoxide,
di-2-éthylhexylphtalate (DEHP),
acrolein,
lead,
acetaldehyde,
particules matters (PM₁₀ et PM_{2.5}),
cadmium,
arsenic,
benzo[a]pyrène,
benzo[a]anthracène,
1,4-dichlorobenzène
chloroforme.

Schools

6 priority substances

formaldehyde,
benzene,
acetaldehyde,
PM₁₀ et PM_{2.5}
chrome.

Office buildings

5 priority substances

benzene,
PM_{2.5},
Mix of PCB,
ethylbenzene,
formaldehyde.

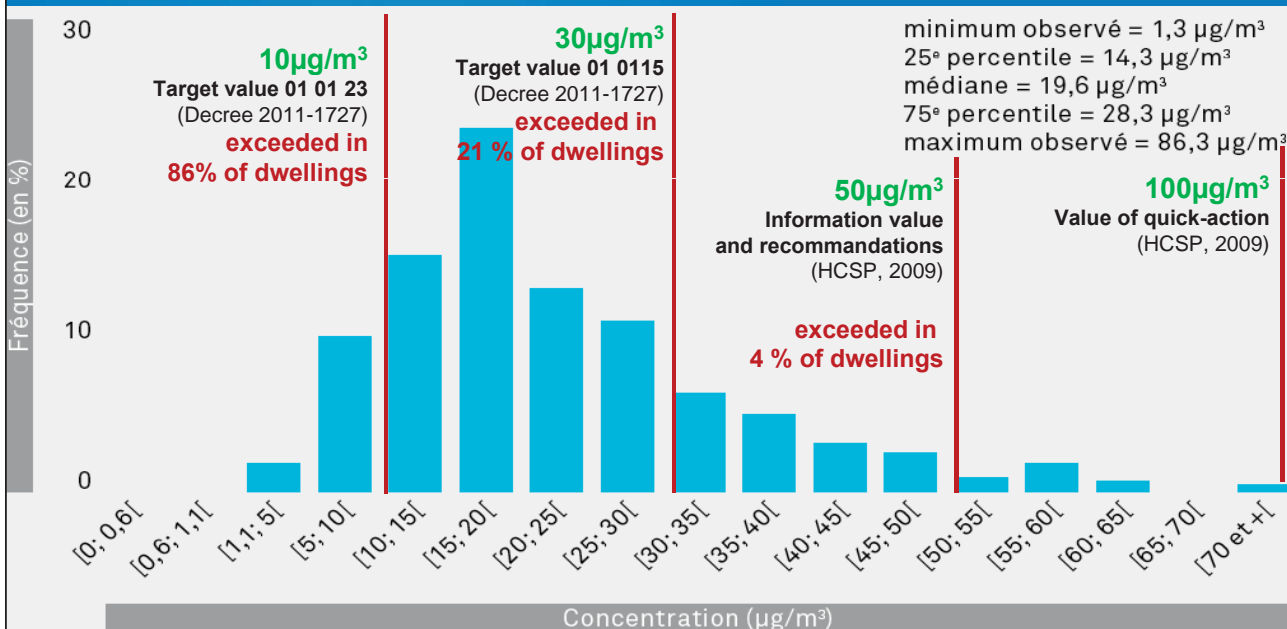
Sources : *Almeras et al, 2010*



Observatoire de la qualité de l'air intérieur

Dwellings: distribution of pollutants in the French housing stock

Ex. Formaldehyde : distribution of concentrations in French dwellings (N = 24 M dwellings)



Observatoire de la qualité de l'air intérieur

Dwellings: key determinants of IAQ

Emission sources



Building
 attached garage
 new building
 new materials /
 decoration products
 water damage



Occupants & activities
 density of occupation
 smoking,
 DIY
 candles, incense
 dry cleaning,
 old mattresses

Air management



Air management
 air exchange rate
 design and maintenance
 of ventilation systems
 opening windows

Outdoor environment



Outdoor environment
 air
 soil
 climatic zone
 (Température
 and Humidity)

Association between pollutants and household incomes



Observatoire de la qualité de
l'air intérieur

IAQ indicators for schools

LUM'AIR[®] : integrated tool for
assessment and management of
air stuffiness in schools and
kindergarten based on CO₂ levels

- Index ICONE : rating from 0 to 5
- Traffic light 



| ICONE index score | Frequency of CO ₂ values | Air stuffiness |
|-------------------|---|-------------------------------|
| 0 | 100% CO ₂ values < 1000 ppm | Fresh air (no air stuffiness) |
| 1 | ~1/3 values > 1000 but < 1700 ppm | Low air stuffiness |
| 2 | ~2/3 values > 1000 but < 1700 ppm | Medium air stuffiness |
| 3 | ~2/3 values > 1000 with 1/3 > 1700 ppm | High air stuffiness |
| 4 | ~2/3 values > 1700 ppm | Very high air stuffiness |
| 5 | ~100% CO ₂ values > 1700 ppm | Extreme air stuffiness |



Observatoire de la qualité de
l'air intérieur

Socio-Economic Costs due IAQ: A Tentative Estimation for France

Selection of 6 target pollutants: CO, radon, ETS + benzene, TCE, PM_{2,5}

| 1. EXTERNAL COSTS | 2. IMPACT ON PUBLIC FINANCES |
|---|------------------------------------|
| 1.1 Mortality cost (life year value = €115,000, Quinet, 2013) | 2.1 Health care |
| 1.2 Morbidity costs | 2.2 Research |
| 1.3 Loss of productivity | 2.3 Pensions not paid ("benefits") |

Annual costs in million euros for 6 target pollutants

| Benzene | TCE | Radon | CO | Particles | ETS |
|---------|-----|-------|-----|-----------|-------|
| 883 | 39 | 2,694 | 308 | 14,331 | 1,279 |

Total indoor pollution costs in France

estimated at around **€20 billions per year**.

Particles generated the highest burden, with €14 billions per year.

Government support actions Source control

- **Ban of compounds** : CMR category 1 and 2 in decoration products (trichloroethylene, benzene, phthalates: DBP, DEHP)
- **Mandatory labelling system on construction products based on VOC emissions**

| Classes | C | B | A | A+ |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Formaldéhyde | >120 | <120 | <60 | <10 |
| Acétaldéhyde | >400 | <400 | <300 | <200 |
| Toluène | >600 | <600 | <450 | <300 |
| Tétrachloroéthylène | >500 | <500 | <350 | <250 |
| Xylène | >400 | <400 | <300 | <200 |
| 1,2,4-Triméthylbenzène | >2000 | <2000 | <1500 | <1000 |
| 1,4-Dichlorobenzène | >120 | <120 | <90 | <60 |
| Éthylbenzène | >1500 | <1500 | <1000 | <750 |
| 2-Butoxyéthanol | >2000 | <2000 | <1500 | <1000 |
| Styrène | >500 | <500 | <350 | <250 |
| COVT | >2000 | <2000 | <1500 | <1000 |



CSTB
Le futur en construction

Mandatory IAQ monitoring in establishments open to the public

- **Every 7 years**, except in case of excess of limit value (2 years)

- **Mandatory measurement**
by accredited organizations

- Benzene
- Formaldehyde
- Air stuffiness (CO₂)
- Tetrachloroethylene (if dry cleaning)



OR

- **Optional measurements**
if pollution prevention provisions

- Guidelines for IAQ management

- **Mandatory assesement of room ventilation**

SCHEDULE

January 2018 : childcare centers, nursery and primary schools

January 2020 : places of leisure, high school

January 2023 : health care establishment, jail, swimming pool



3rd National Environmental Health Action Plan (November 2014)

- Asbestos roadmap
- Action plan on radon, lead, nano materials, etc
- Information of public and major players
- Development of labelling system for air pollutant emitting products
- Development of incentive action and preparation of regulatory changes related to thermal regulations
- Improve knowledge



CSTB
le futur en construction

How to go further from here thanks to Japan/France cooperation ?

We could propose

- 1 | benchmark Japan/France public policies to learn from each other experience
- 2 | exchange of researchers between CSTB and a research organization in Japan (English as a work language)
- 3 | scientific expertise and research know-how to Japanese innovating companies

CSTB
le futur en construction

CSTB
le futur en construction



Indoor Air Quality

Séverine Kirchner

severine.kirchner@cstb.fr

Japan France Colloquium December 9th 2014

www.cstb.fr / www.oqai.fr