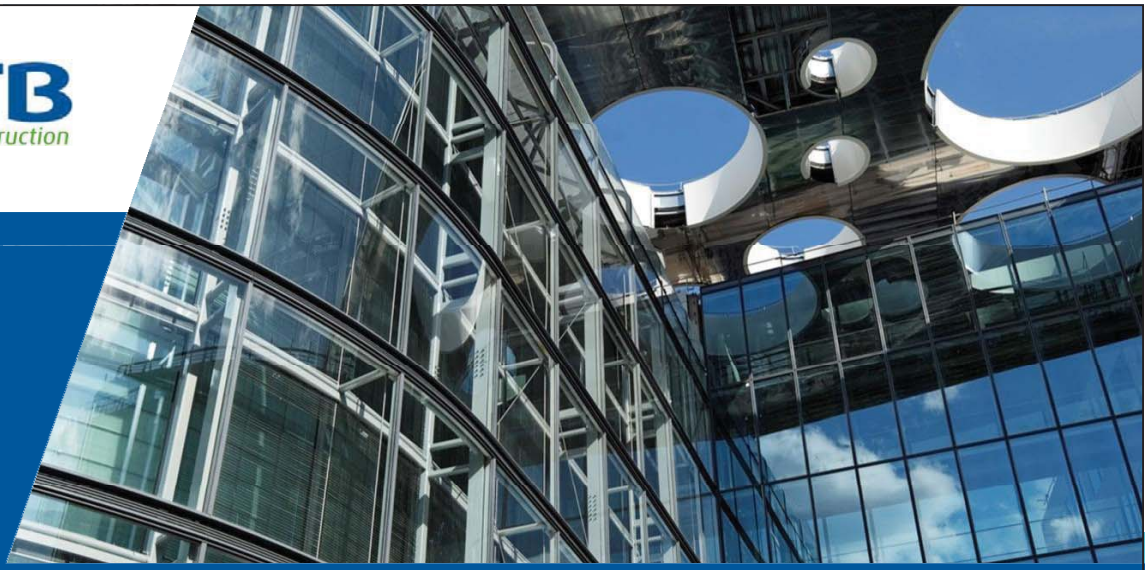
CSTB
le futur en construction



建築における火災安全性の確保

2014年12月10日　日仏建築会議

Stéphane HAMEURY

発表内容

1. 火災安全工学とフランスの規制
2. 火災安全工学 と研究

CSTB
le futur en construction

火災安全工学と フランスの規制

CSTB
le futur en construction

火災安全工学とフランスの規制

火災安全設計： 仕様設計から性能設計へ

仕様設計規定

- 単純な建築を想定した「十分と見なされる要件」
- 長期に渡って踏襲されてきた仕様 (仕様規定によって死亡者数を抑制)
- 規定適用 - シンプルな管理
- 一部の消防関係者 - シンプルな要求規定を志向

性能設計規定

- 火災安全工学(FSE；Fire Safety Engineering):火災安全上の目的、性能要件、性能基準をすべて定義
- 火災安全規則の扱わない複雑な建築が対象
- 補償措置の促進
- リスク分析

CSTB
le futur en construction

フランスにおける火災安全工学の開発

火災安全工学の開発

- 国際レベル: ISO/TC 92/SC 4
- 欧州レベル: CEN/TC 127
- フランス国内: 国家事業(2005から2011) http://www.pnisi.fr/ - 調和化された火災安全工学実施基盤の国内構築が目的

ISO/TC92/SC4に準じたFSEの例

- 設計のための火災シナリオと火源を規定
- 火炎と煙の伝播
- 火災における建築構造
- 人間の行動と移動
- 環境保護の強化
- 能動的な防火設備

国の規制として2004年に性能設計を導入

CSTB le futur en construction

火災安全工学のフランス国内規制への導入

煙管理

- 2004年3月22日付省令 - 公共建築にのみFSEを導入
- 内務省認可機関のみが実施 - CSTB、LNE、EFECTIS France、CNPP

構造耐火性

- FSEの導入
  - 「火災における建築構造」対象省令 - 2004年3月22日
  - 「屋根付き駐車場」を含める省令改正 - 2006年5月9日
  - 省令1999年12月31日を2006年に改正 -「原子力施設」を対象に
- 火災安全性評価の認可機関はないが、フランスの3つの耐火性試験研究所である、CSTB、EFECTIS France、CERIBのいずれかが実施しなければならない

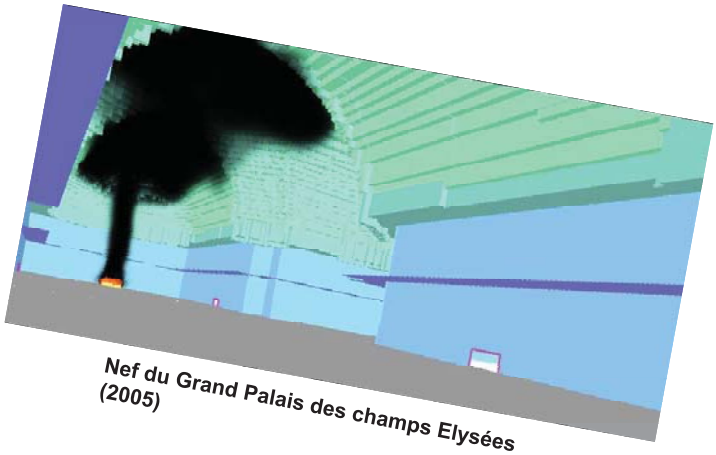
公共建築物において、
認可機関(煙伝搬)または専門家(火災における建築構造)の提案する
火災シナリオは安全性とアクセシビリティに関する省諮問委が妥当性確認を行う

CSTB le futur en construction

煙管理と性能ベースのアプローチ

煙管理における火災安全工学

- 認可機関 - 使用した演算モデルを提供
- 前提条件とシナリオ - 現地当局のものと整合
- 認可機関 - 採用した性能基準を明示
- 性能基準に関する研究の結論を提供



Nef du Grand Palais des champs Elysées (2005)

CSTB le futur en construction

煙管理と性能ベースのアプローチ

当該建物に設置した煙排気設備の妥当性確認と当該モデルの結論の検証 - 現地当局が現場(in-situ)煙試験を要求する可能性がある

Zénith Strasbourg (2006)

Brest Arena (2014)

CSTB le futur en construction

煙管理と性能ベースのアプローチ

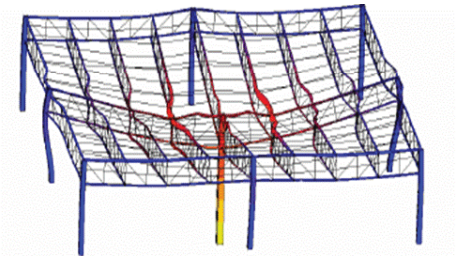
所管庁による認可機関の条件

- 規制に関する知識
- 管轄当局との折衝能力
- リスク分析、火災シナリオの設計、火災モデル、煙管理における能力
- 建物、特に煙管理設計と煙管理に関する機器のサイズ決定に関する知見
- 審査を担当する者の独立性(担当案件に利害がないこと、報酬が作業件数もしくは評価の結果、あるいはその両方と関連していないこと)

CSTB le futur en construction

火災における建築構造と性能ベースのアプローチ

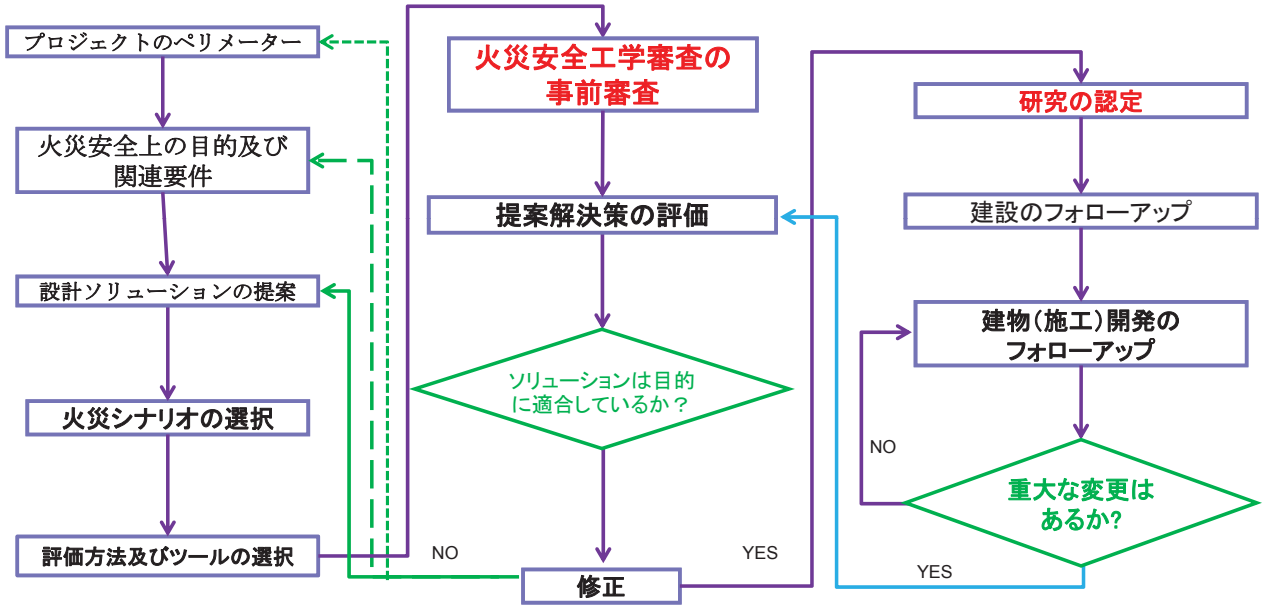
建築構造における火災安全工学



1. 火災シナリオの検討
2. 当局が選定された火災シナリオに同意
3. 自然の熱作用に対応する設計
4. 熱機械的挙動に対応する設計(火災中に倒壊しない)
5. 認定試験所による火災安全工学審査の妥当性確認
6. 建物寿命期間中 - 火災シナリオを管理するための建築環境の使用条件を設定
7. 建物オーナー - 着工前にこれら条件を守ることを約束

CSTB le futur en construction

火災における建築構造と性能ベースのアプローチ



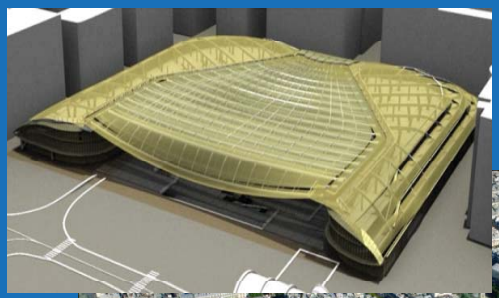
CSTB le futur en construction

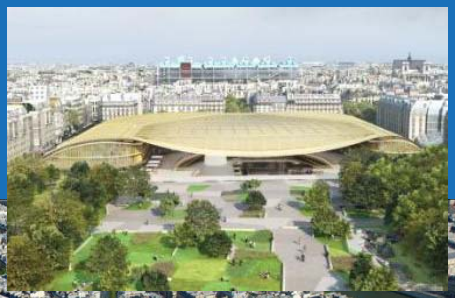
火災における建築構造と性能ベースのアプローチ：事例

パリ – La Canopée des Halles

火災安全工学設計：CTICM とCSTB

施工：Castel et Fromaget





CSTB le futur en construction

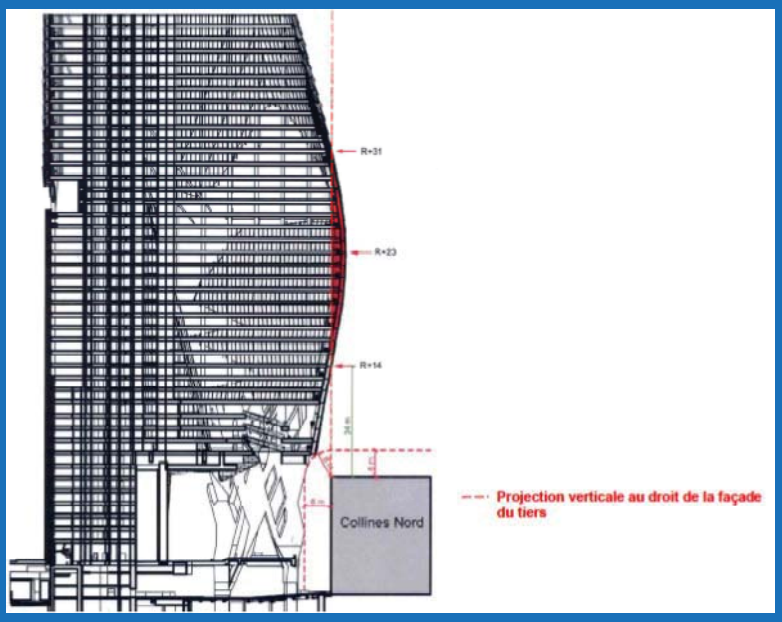
火災における建築構造と性能ベースのアプローチ：事例

Tower Phare

70 階建/建物高284 m

EFECTIS FranceによるFSE事例

認定機関としてのCSTBによる
火災安全工学審査



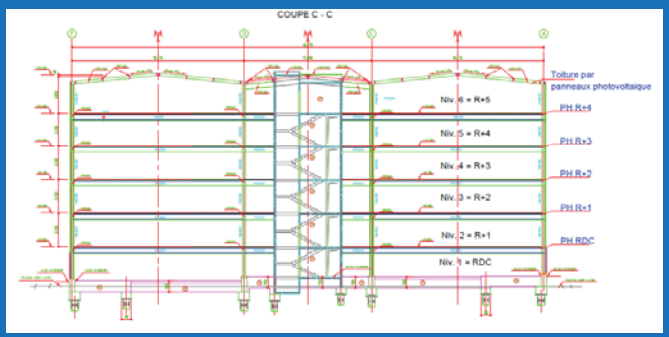
火災における建築構造と性能ベースのアプローチ：事例

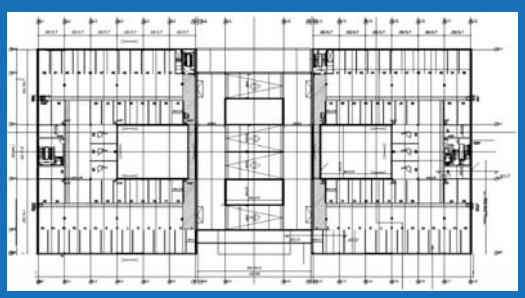
Bègles – Parking Domofrance

特性

種類：新築
面積: 26 000 m²
収容台数: 571
階数：6

FSE 設計: E2C Atlantique
施工：Vilquin
認定機関としてのCSTBによる火災安全工学審査





2

火災安全工学と研究

CSTB
le futur en construction

持続可能な建物に火災安全研究を実施するのはなぜか

目的：性能ベースの火災安全性(火災に対する反応と耐久性)の開発により
グリーン建築の火災安全度を担保

- 人体の保護
- 経済損失の抑制
- 火災後のレトロフィット

背景

高齢化

リスク回避

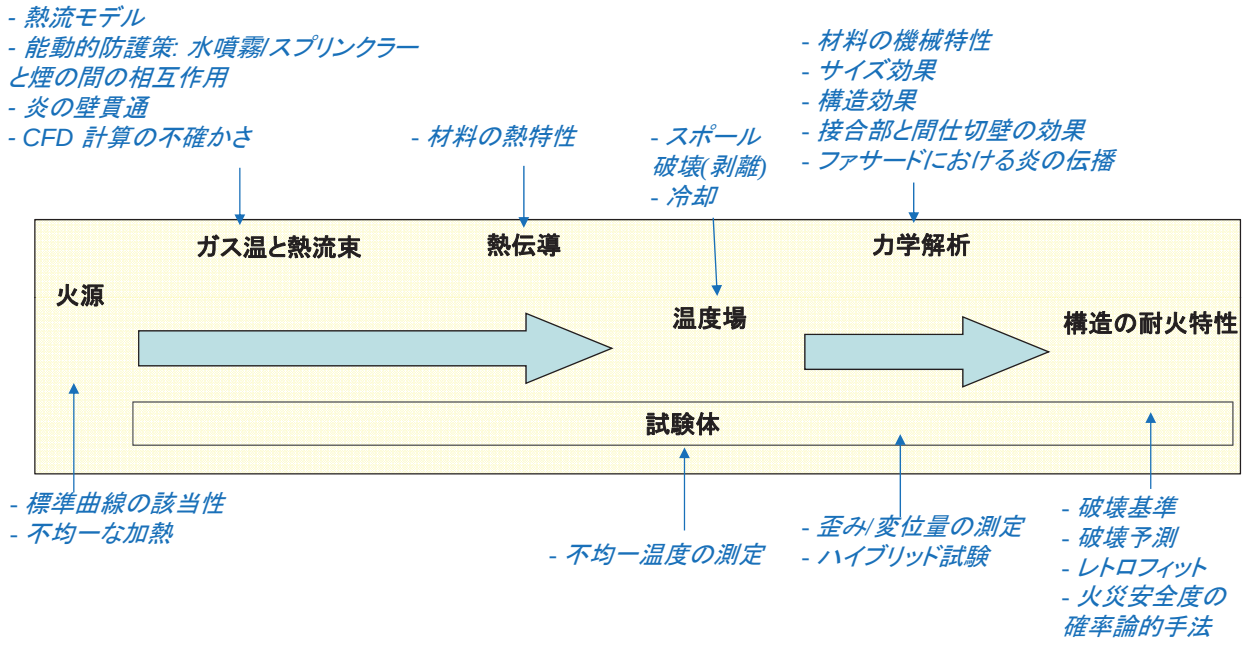
建築部門の革新と
進化を支援

新たな建築実務

**性能と火災安全性に
基づいた建築設計**

CSTB
le futur en construction

火災安全工学の研究項目



CSTB le futur en construction

火災安全度評価ツールの開発 (SCHEMA-SI)

総合火災安全解析の確率論的演算とハイブリッド事象モデル手法

物理現象(原発燃焼物、煙の動き、火炎の拡がりの加速化)

モンテカルロシミュレーション

基本 SCHEMA-SI：連続事象、離散事象の数学的なシミュレーションを確率論的に行い、望ましからぬ事象の生起頻度を計算。(ペトリネットモデルと2ゾーンモデルを基盤とする)

離散事象(安全策の活性化、開口部の崩壊、人の行為、フラッシュオーバー)

初期条件を任意に設定

安全目的によって定義 (死亡の有無、死亡者の数、経済損失の防止)

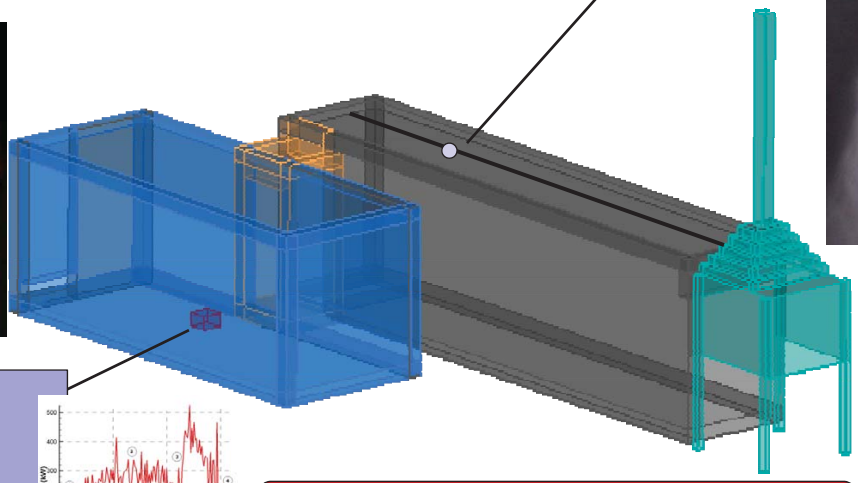
A. Muller, F. Demouge, M. Jeguirim, Ph. Fromy “SCHEMA-SI : A HYBRID FIRE SAFETY ENGINEERING TOOL - PART I : TOOL THEORETICAL BASIS”, Fire Safety Journal, 58 (2013) Pages 132-141
A. Muller, F. Demouge, M. Jeguirim, Ph. Fromy “SCHEMA-SI : A HYBRID FIRE SAFETY ENGINEERING TOOL - PART II : CASE STUDY”, Fire Safety Journal, 58 (2013) Pages 58-64

CSTB le futur en construction

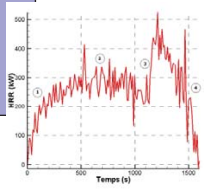
水噴霧/スプリンクラーと煙の間の相互作用

部屋-廊下試験設備
- 部屋：12 m² 天井高2,15 m
- 廊下：9 m 長 天井高2,35 m
- 自然換気

水噴霧装置
- 圧力= 110 bars
- d_{32} = 23,5 µm
- 流量 = 27,5 l/分



燃焼
- ヘプタン
- 面積 = 0,09 m²
- HRR = 275 kW



水噴霧/スプリンクラーと煙の間の相互作用
➡ 火源に直接的な水噴霧の適用なし

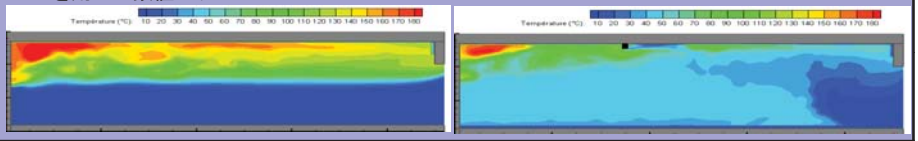
CSTB le futur en construction

19

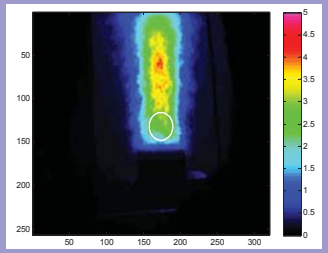
水噴霧/スプリンクラーと煙の間の相互作用

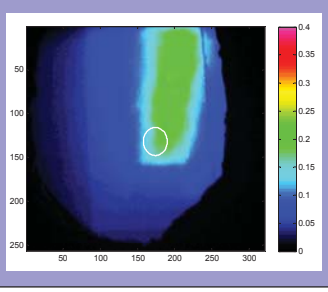
火源 + 煙の層化

FDSを用いた数値モデル

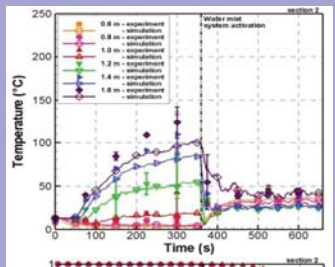


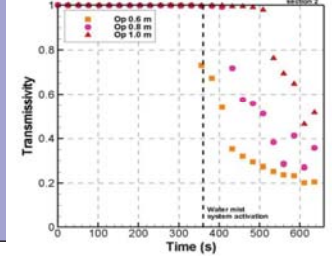
輻射熱の減衰効果





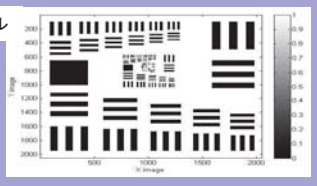
温度と不透過度の測定





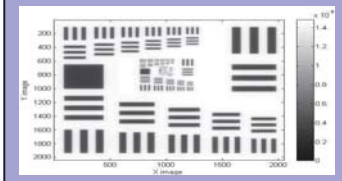
煙と水噴霧/スプリンクラー中の視界評価

オリジナル



λ = 500 nm
$f_v = 2.10^{-4}$
d = 0.1m

λ = 500 nm
$f_v = 1.10^{-3}$
d = 0.1m



CSTB le futur en construction

20

研究項目: 火災条件におけるコンクリートの挙動

全般的な特徴

コンクリート: 火災暴露下の挙動は一般に良好

しかし実際の火災後の観察では…
- スポール破壊(剥離)
- ひび割れ
- まれに倒壊
  - 現場で観察された現象 - 試験施設(例:押し抜きせん断破壊)では見られないものもある

重要な研究
だが、複数の現象に関する理解が限定

スポール破壊

Saint-Gothardトンネル

プログラム
- コンクリート構造の機械学的応答
- スポール破壊(形状、境界条件などに依存)
- 接合部

CSTB le futur en construction

IN-SITU耐火試験 (例:トンネル内)

移動式炉

in-situ 試験用に設計されたオイル燃料2バーナ炉

円形火口
オイルバーナ

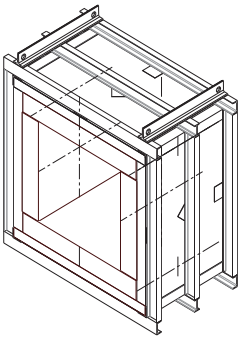
ケイ酸カルシウム
断熱板

耐熱性スチール
フレーム

スチール製
フレームサポート

移動式オイルタンク
(1000 L)

ターボブロワ(15kW) &
燃焼用給気口



On site tunnel structures spalling risk assessment by means of a mobile furnace. ISTSS conference 2013

Pardon, D.[1], Pimienta, P.[1], Hameury, S.[1], Hameury, S.[1], Pinoteau, N.[2], Peyrac P.[3], Larive C.[2], D'Aloia, L.[2], Clec'h, P.[3]
[1] CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Université Paris-Est
[2] CETU – Centre d'Etudes des Tunnels
[3] DRIEA-IF – Département ingénierie Ouvrages d'Art

CSTB le futur en construction

VULCAIN - 火災安全工学を支援

大型(9 m 高·7 m 長)

モジュール式·3D形状

力学負荷

先進的な冶金

CSTB le futur en construction

VULCAIN - 火災安全工学を支援
サイズ効果

背景

大規模建築造数 ↗

従来の方式 :

3 m x 3 mの試験体 + 外挿(安全余裕度込み)

VULCAINの初試験 - 高い間仕切壁(6 m x 3 m)

安全余裕度が確認される ➔ コスト節減の可能性

科学的なアプローチ

試験条件が実際の状況に近い

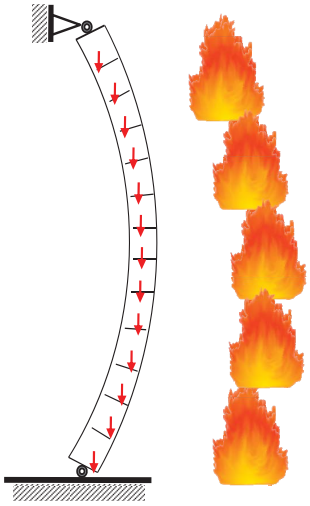
- サイズ、形状、境界条件、熱負荷など

実験とモデル化の組合せ方式

モデル化: 試験の設計

↑↓ 結果の理解向上

試験: モデルの改善/検証



非線形挙動

二次効果

CSTB le futur en construction

VULCAIN - 火災安全工学を支援
ハイブリッド試験

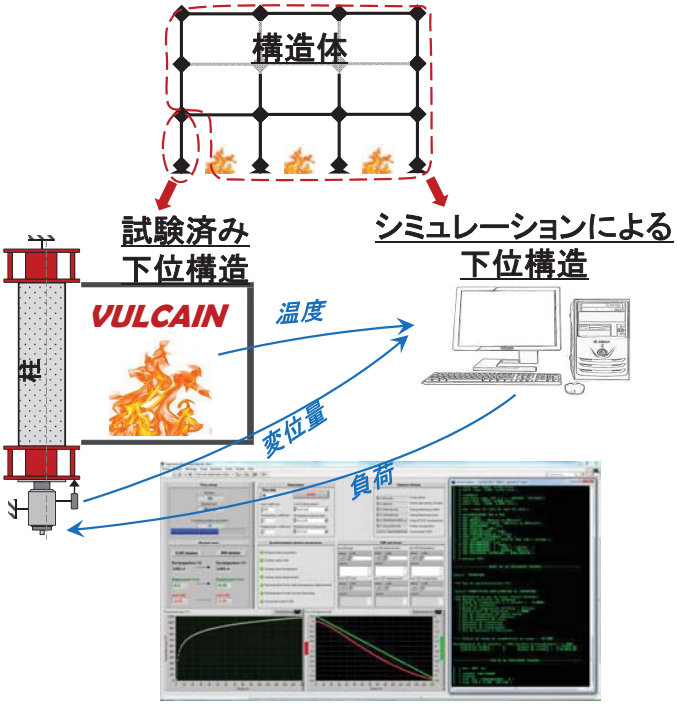
概説

ハイブリッド火災試験 (HFT) = データを
シミュレーションとリアルタイムで交換する
下位構造試験

- 温度と変位量をシミュレーションに入力
- シミュレーションが計算した機械的負荷を
  試験構造体に適用

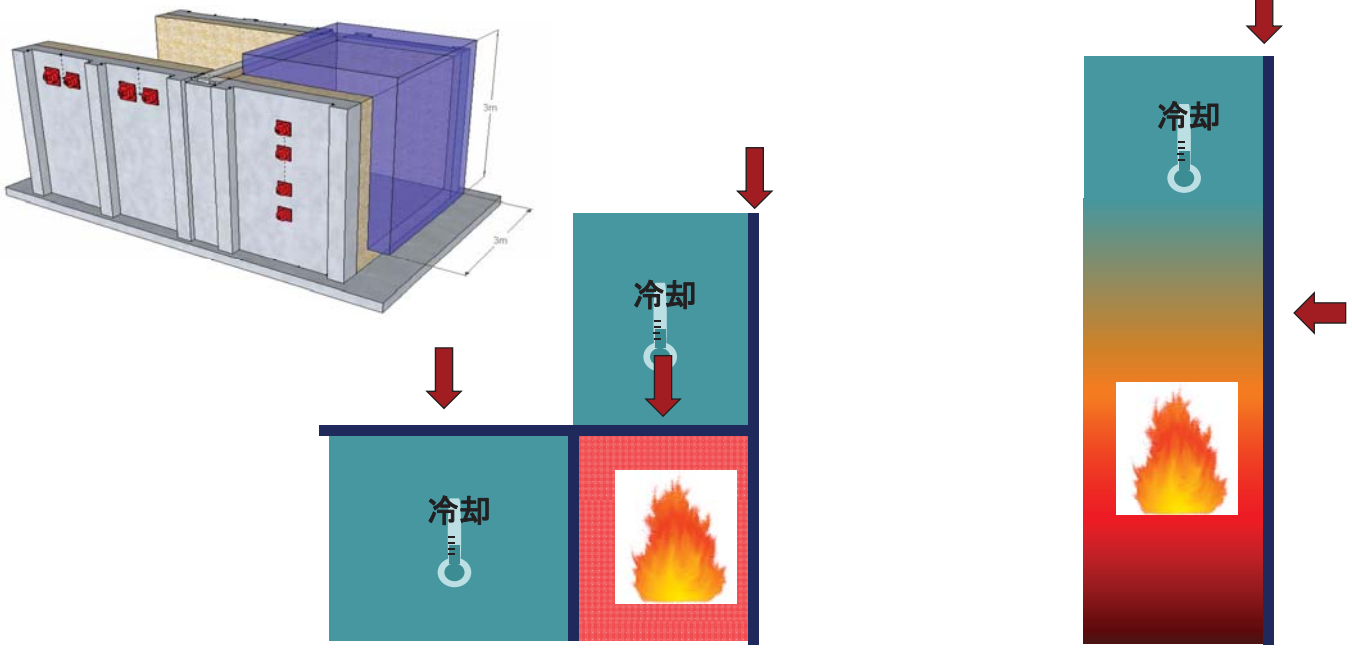
利点

実際の場合に近い荷重条件
大型構造を「試験」する能力



CSTB
le futur en construction

VULCAIN - 火災安全工学を支援
不均一な火災負荷/ 3D試験



CSTB
le futur en construction

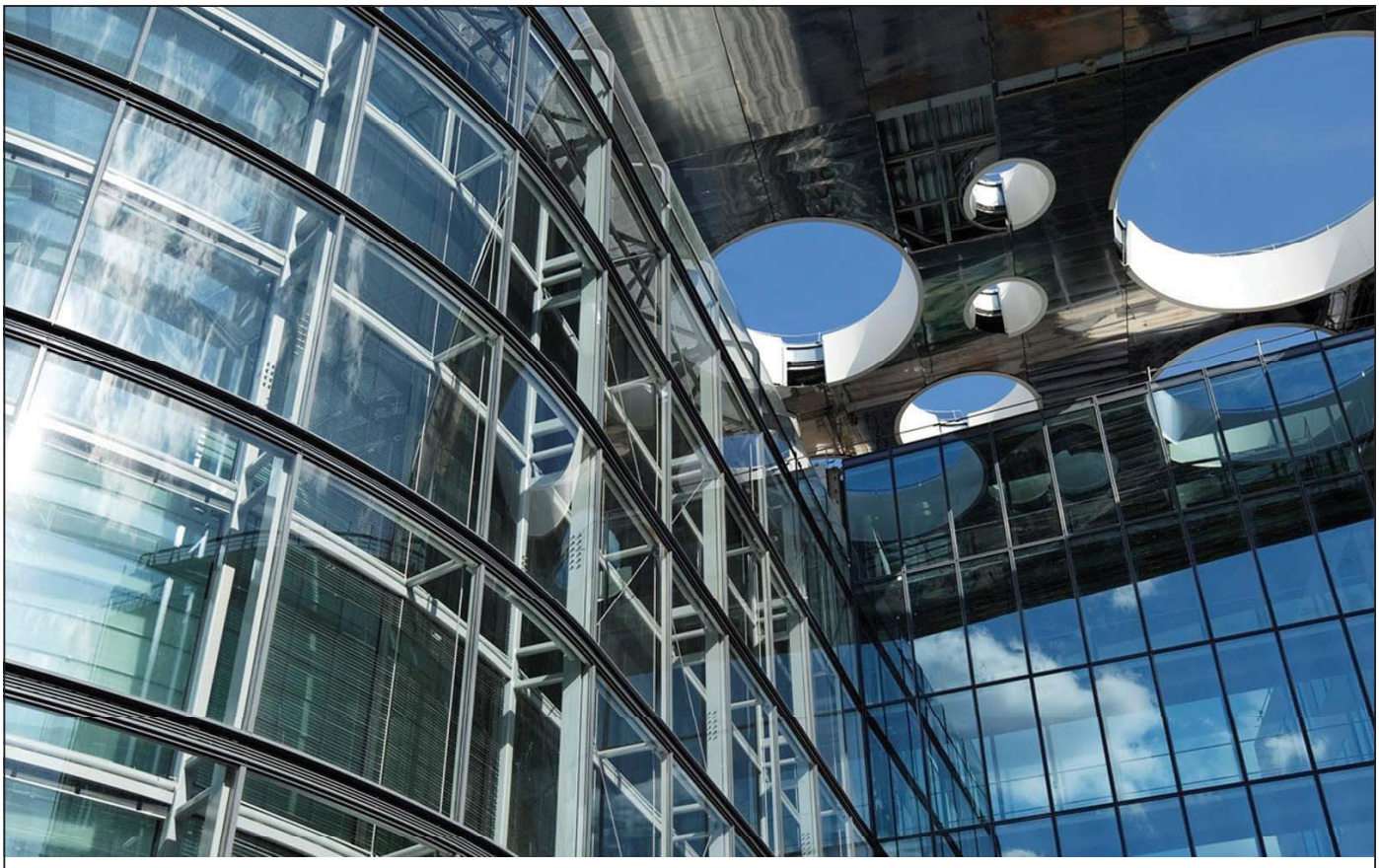
木造ファサード上の火炎の拡がり


2012年6月11日

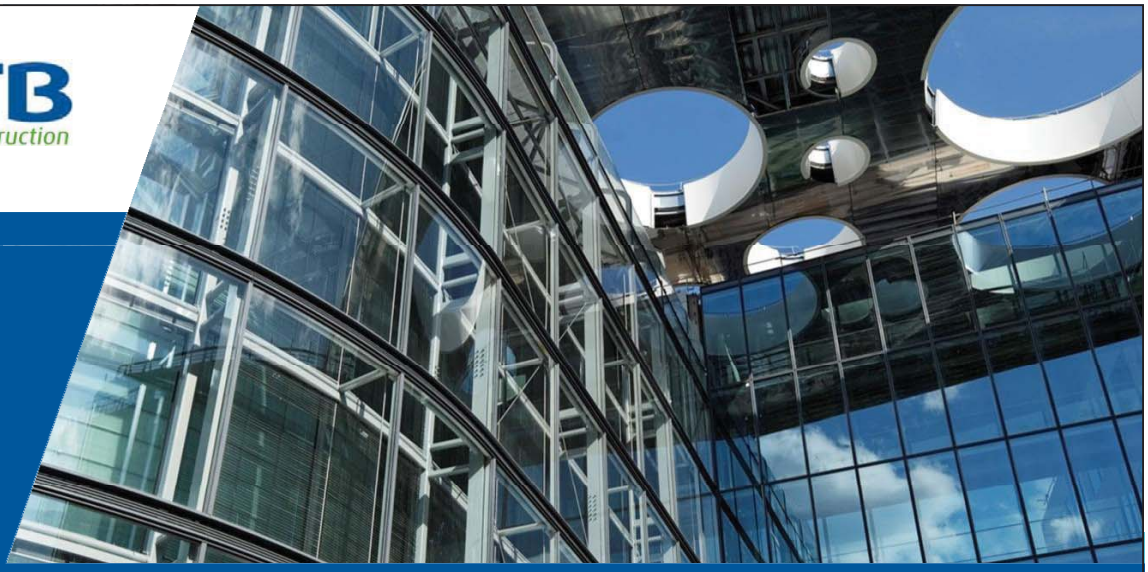

2014年4月4日


2014年6月11日


2014年10月15日



CSTB
le futur en construction



ENSURING FIRE SAFETY OF BUILDINGS

Japan-France Joint Conference, December 10, 2014

Stéphane HAMEURY

OUTLINE

1. Fire Safety Engineering & French Regulation
2. Fire Safety Engineering & Research

CSTB
le futur en construction

FIRE SAFETY ENGINEERING & FRENCH REGULATION

CSTB
le futur en construction

FIRE SAFETY ENGINEERING & FRENCH REGULATION

FROM PRESCRIPTIVE-BASED DESIGN TO PERFORMANCE-BASED DESIGN IN FIRE SAFETY

Prescriptive-based design:

- Deemed-to-satisfy solutions for simple buildings
- Long-felt prescriptive measures (number of deaths is limited with prescriptive regulation)
- Simplified control for the application of rules
- Some fire safety practitioners prefer to use simple requirements

Performance-based design:

- Fire Safety Engineering (FSE): definition of all necessary fire safety objectives, functional requirements and performance criteria
- Complex buildings not treated by the fire safety regulation
- Promote compensation measures
- Risk analysis

CSTB
le futur en construction

Development of Fire safety engineering in France

Development of Fire Safety Engineering :

- At the international level, through ISO/TC 92/SC 4
- At the european level, through CEN/TC 127
- At the national level, through a National Project (2005 to 2011) with the objective to lay the foundations for a harmonious practise of FSE in France http://www.pnisi.fr/

Some FSE approaches according to ISO/TC92/SC4:

- Design fire scenarios and design fires
- Fire and smoke propagation
- Structures in fire
- Behaviour and movement of people
- Strengthening environmental protection
- Active fire protection systems

PERFORMANCE-BASED DESIGN INTRODUCED INTO FRENCH REGULATION IN 2004

CSTB le futur en construction

Introduction of Fire safety engineering into French Regulation

Smoke control:

- FSE introduced by Ministerial order of 22/03/2004 only for public buildings
- Practitioners are only Approved Bodies by the Ministory of interior: CSTB (2004), EFECTIS France (2005), LNE (2008), CNPP (2010) & WSP (2014).

Structures in fire:

- FSE introduced by:
  - Ministerial order of 22/03/2004 covering « Structures in Fires »
  - Ministerial order of 09/05/2006 modified covering « Covered car parks »
  - Ministerial order of 31/12/1999, modified in 2006 covering « Nuclear installation »
- No Approved Bodies but every studies shall be completed with an assessment carried out by one of the 3 French Resistance to Fire laboratories: CSTB, EFECTIS France, & CERIB

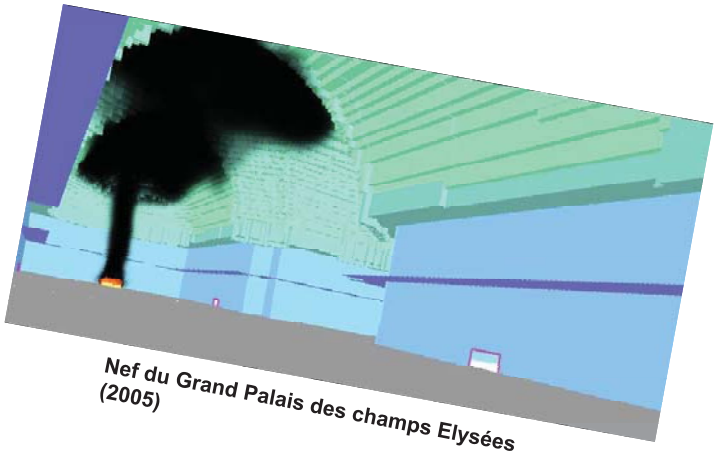
In public buildings, fire scenarios proposed by the Approved Bodies (smoke propagation) or practitioners (structures in fire) are validated by the departmental advisory committee of safety and accessibility

CSTB le futur en construction

Smoke control & Performance-based Approach

Fire Safety Engineering in the field of smoke control:

- The calculation Models used by the AB must be provided
- The assumptions and scenarios shall be in agreement with the local authorities
- The performance criteria retained must be clearly identified by the AB
- The conclusion of the study related to the performance criteria must be provided



Nef du Grand Palais des champs Elysées (2005)

CSTB le futur en construction

Smoke control & Performance-based Approach

In-situ smoke test might be required by the local authorities to validate the smoke exhaust systems installed in the buidling and to validate the conclusion of the modelling.

Zénith Strasbourg (2006)

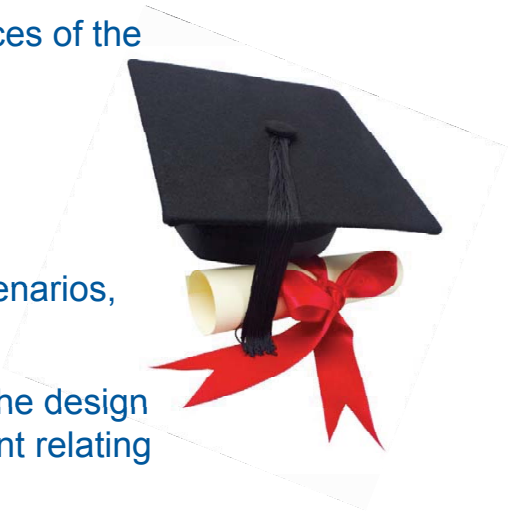
Brest Arena (2014)

CSTB le futur en construction

Smoke control & Performance-based Approach

The recognition by public authorities of competences of the AB is based on the followings:

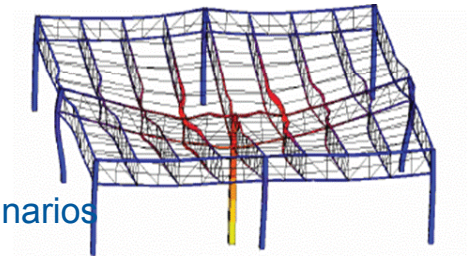
- Knowledge of the regulation
- Aptitude to dialogue with the authorities
- Competences in risk analysis, design of fire scenarios, fire modelling and smoke control
- Knowledge about buildings and particularly in the design of smoke control and dimensioning of equipment relating to it
- Independence of the personnel in charge of the studies (no interest in the projects and not remuneration related to the number of studies carried out and/or with their results)



CSTB le futur en construction

Structures in Fire & Performance-based Approach

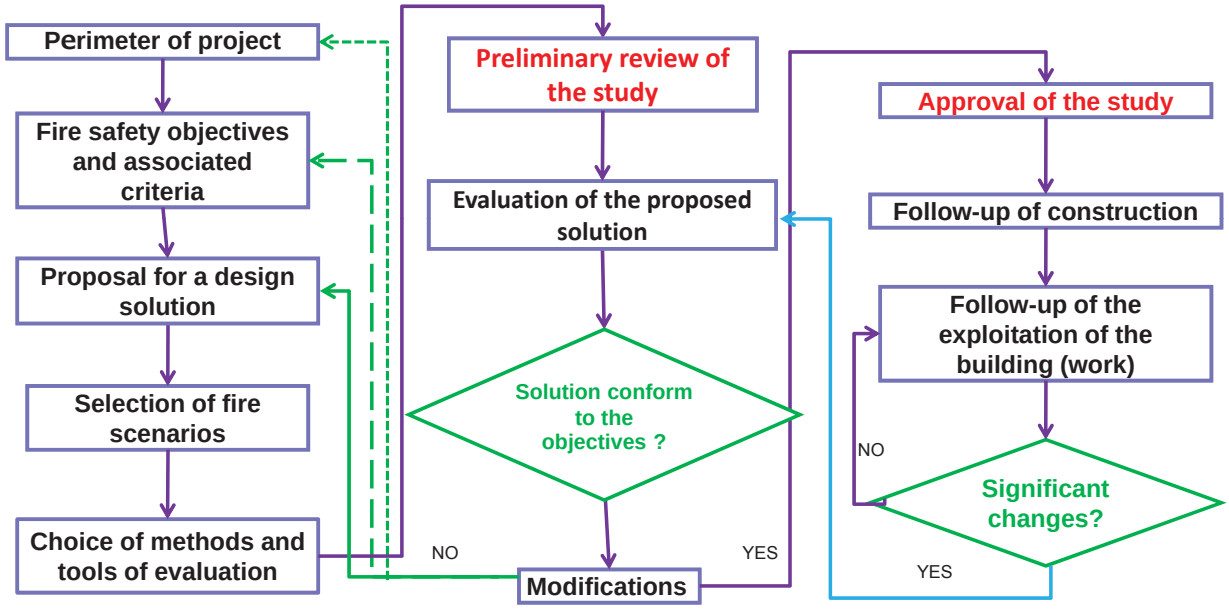
Fire Safety Engineering in the field of structures:



1. Examination of the fire scenarios
2. Agreement of the authorities on the selected fire scenarios
3. Design of the natural thermal actions
4. Design of the thermo mechanical behaviour (no collapse for all fire duration)
5. Validation of the study by a notified laboratory
6. Establishment of conditions of use of the built environment in order to control the fire scenarios during the life of the building
7. Engagement of the owner to respect these conditions before beginning of construction

CSTB le futur en construction

Structures in Fire & Performance-based Approach



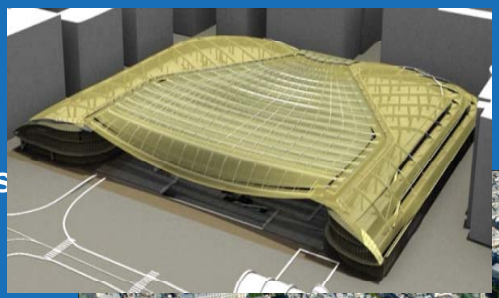
CSTB le futur en construction

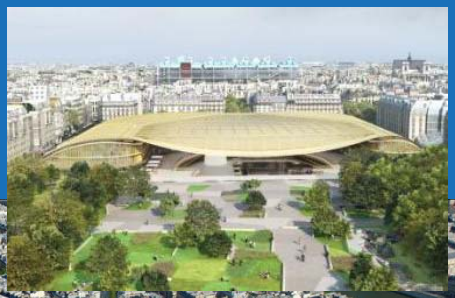
Structures in Fire & Performance-based Approach: exemples

Paris – La Canopée des Halles

FSE study realised by CTICM & CSTB

Construction by Castel et Fromaget





CSTB le futur en construction

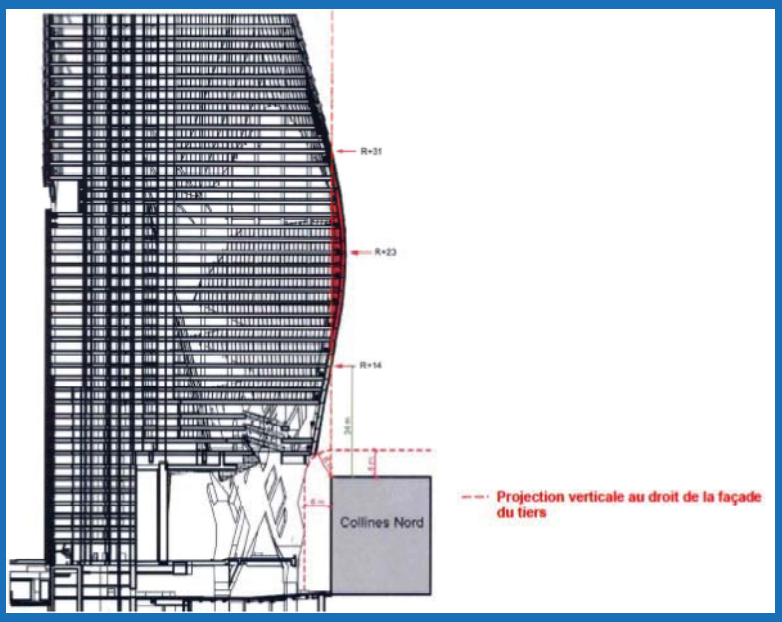
Structures in Fire & Performance-based Approach: exemples

Tower Phare :

70 storey with a height of 284 m

FSE study realised by EFECTIS France

Assessment of the study by CSTB as Notified Body



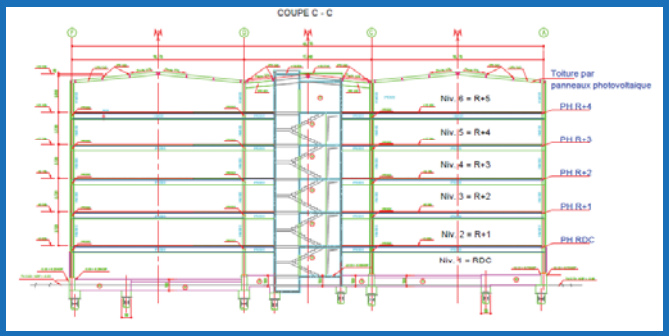
Structures in Fire & Performance-based Approach: exemples

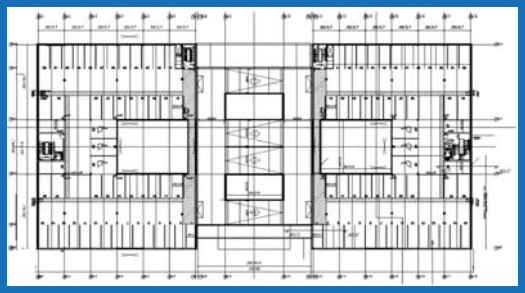
Bègles – Parking Domofrance

Caractéristiques :

Type : new
Surface: 26 000 m²
Nombre car places: 571
Nombre of levels : 6

FSE study: E2C Atlantique
Construction : Vilquin
Assessment of the study by CSTB as Notified Body





2

FIRE SAFETY ENGINEERING & RESEARCH

CSTB
le futur en construction

WHY TO DO FIRE SAFETY RESEARCH ON SUSTAINABLE BUILDINGS?

OBJECTIVE: Guarantee the fire safety level of green buildings by the development of performance-based approach of fire safety (reaction and resistance to fire)

- Protect people
- Limit economical loss
- Retroffiting post-fire event

Context

Ageing of the population

Risk aversion

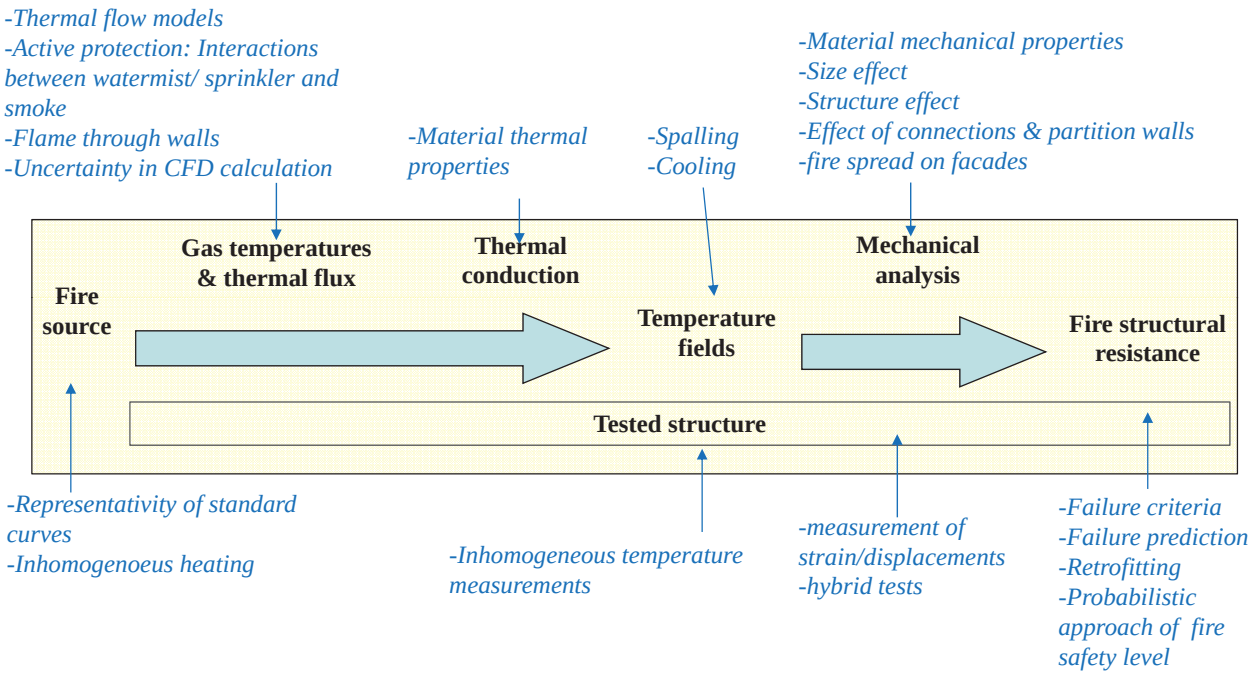
Support innovation and transition in the building sector

New architectural practices

PERFORMANCE-BASED DESIGN OF FIRE SAFE BUILDINGS

CSTB
le futur en construction

RESEARCH ASPECTS IN FIRE SAFETY ENGINEERING



CSTB le futur en construction

TOOL DEVELOPMENT FOR THE ASSESSMENT OF FIRE SAFETY LEVEL (SCHEMA-SI)

Stochastic Computation and Hybrid Event Modeling Approach for Global Fire Safety Analysis

Physical phenomena (burning object, smoke movement, growth rate of fire, multi-room two-zone model)

Monte-carlo simulation with random drawing of intial conditions and events occuring during the fire

Principle SCHEMA-SI: Numerical simulation of continuous and discrete phenomena with stochastic approaches to calculate a frequency of occurrence of non-desired events

Discrete events(activation of safety measures, opening failure, human action, flashover)

Defined by safety objectives (death of people, death of several people, economic loss)

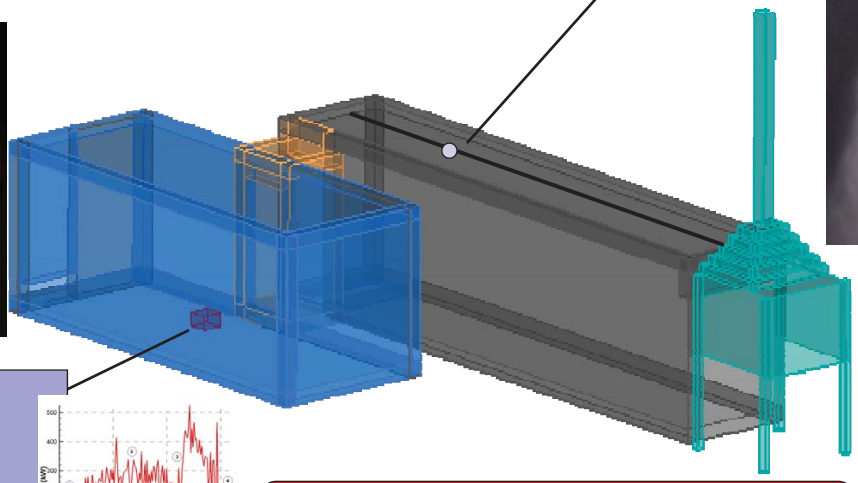
A. Muller, F. Demouge, M. Jeguirim, Ph. Fromy “SCHEMA-SI : A HYBRID FIRE SAFETY ENGINEERING TOOL - PART I : TOOL THEORETICAL BASIS”, Fire Safety Journal, 58 (2013) Pages 132-141
A. Muller, F. Demouge, M. Jeguirim, Ph. Fromy “SCHEMA-SI : A HYBRID FIRE SAFETY ENGINEERING TOOL - PART II : CASE STUDY”, Fire Safety Journal, 58 (2013) Pages 58-64

CSTB le futur en construction

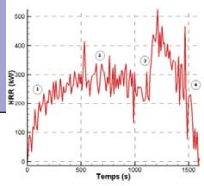
INTERACTIONS BETWEEN WATERMIST/ SPRINKLER AND SMOKE

Room-corridor test facility
- Room 12 m² & 2,15 m high
- Corridor 9 m long & 2,35 m high
- Natural ventilation

Watermist system
- Pressure= 110 bars
- d_{32} = 23,5 µm
- Flowt = 27,5 l/min



Combustion
- Heptane
- Surface = 0,09 m²
- HRR = 275 kW



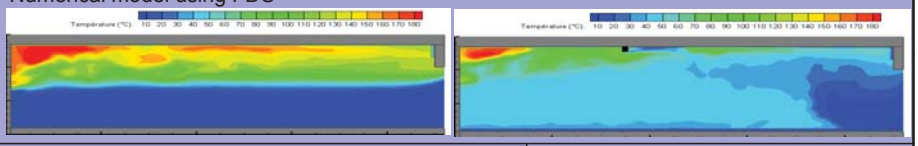
Interaction between watermist/sprinkler and smoke ➡
No direct spraying of watermist on the fire source

CSTB le futur en construction

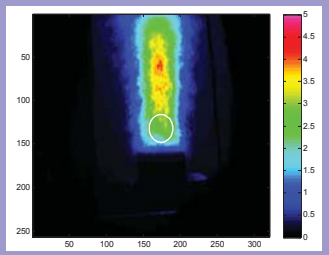
INTERACTIONS BETWEEN WATERMIST/ SPRINKLER AND SMOKE

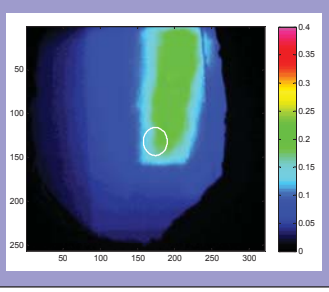
Fire source + smoke stratification

Numerical model using FDS

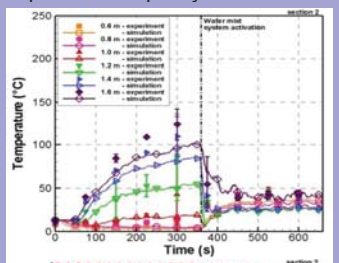


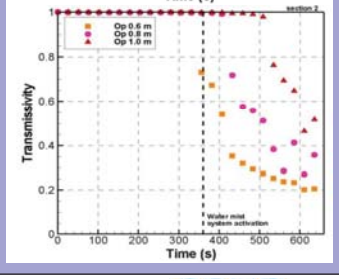
Radiation attenuation





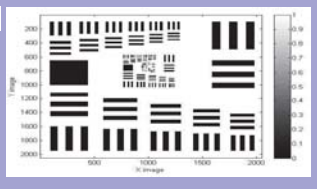
Temperature & opacity measurements





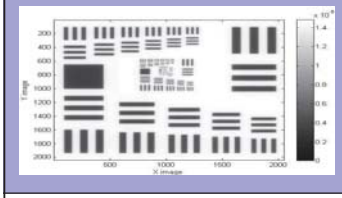
Assesment of visibiliity through smoke and watermist/sprinkler

Source



λ = 500 nm
$f_v = 2.10^{-4}$
d = 0.1m

λ = 500 nm
$f_v = 1.10^{-3}$
d = 0.1m



CSTB le futur en construction

Research aspects: concrete behaviour in Fire condition

General features

Concrete: good general behavior under fire exposure

However observations after real fires can show :
- spalling
- cracks
- More rarely, collapses
  - In some cases, observed phenomena have not been observed in laboratories (punching shear failure for example)

Important research
However, the understanding of several phenomena is limited


Tunnel sous la Manche (1996)

Spalling

Saint-Gothard tunnel

Program
- Concrete structures mechanical response
- Spalling (which depends on geometry, boundary conditions, …)
- Connections

CSTB le futur en construction

In-situ fire resistance test (ex. in tunnels)

Mobile Furnace

Oil-fired furnace equipped with 2 burners designed for in-situ tests.

Round-flame oil burners

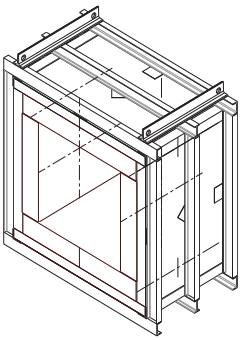
Calcium silicate insulating board

Heat-resistant steel frame

Steel frame support

Mobile oil tank (1000 L)

Turbo blower (15kW) & combustion air supply



On site tunnel structures spalling risk assessment by means of a mobile furnace. ISTSS conference 2013
Pardon, D.[1], Pimienta, P.[1], Hameury, S.[1], Hameury, S.[1], Pinoteau, N.[2], Peyrac P.[3], Larive C.[2], D'Aloia, L.[2], Clec'h, P.[3]
[1] CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Université Paris-Est
[2] CETU – Centre d'Etudes des Tunnels
[3] DRIEA-IF – Département ingénierie Ouvrages d'Art

CSTB le futur en construction

VULCAIN TO SUPPORT FIRE SAFETY ENGINEERING

Large size (9 m height – 7 m long)

Modular and 3D shape

Mechanical loading

Advanced metrology

CSTB le futur en construction

VULCAIN TO SUPPORT FIRE SAFETY ENGINEERING:

Context

Number of large size constructions ↗

Actual classical procedure :

tests on 3 m x 3 m + extrapolation (with safety margin)

VULCAIN 1st test on higher partition wall (6 m x 3 m) :

Safety margin has been confirmed ➔ Possible cost saving

Scientific approach

Test conditions closer to the real situation

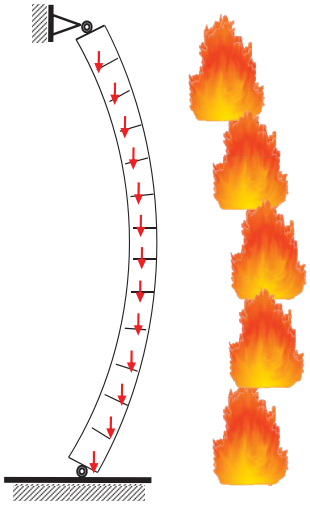
- size, geometry, boundary conditions, thermal load …

Experiments and modeling coupled approach

Modeling: designing the tests

↑↓ Better results understanding

Test: Improvement/validation of the models



Non linear behavior

Second order effect

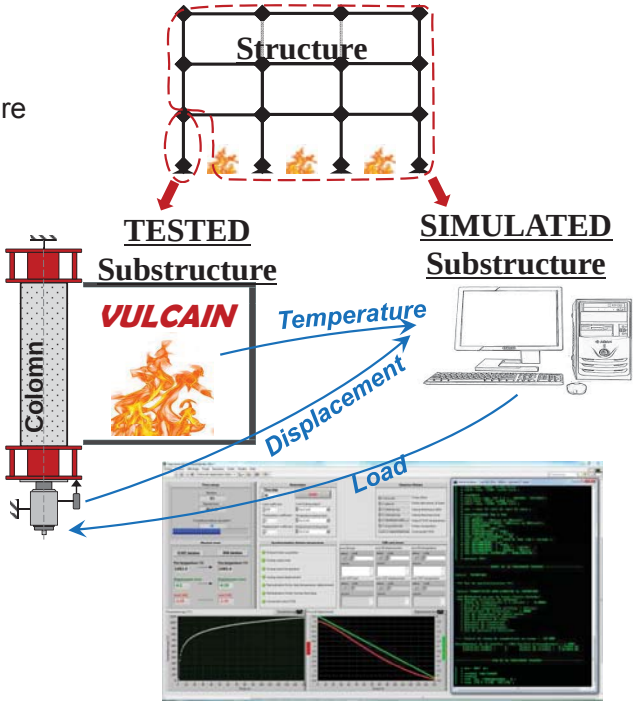
CSTB le futur en construction

VULCAIN TO SUPPORT FIRE SAFETY ENGINEERING:

Introduction

Hybrid Fire Test (HFT) = test on a substructure where data is exchanged in real time with a simulation.

- Temperatures and displacements are injected in the simulation,
- Loads calculated by the simulation are applied on the test structure.



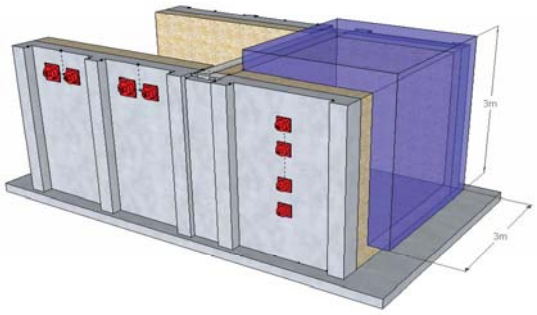
Benefits

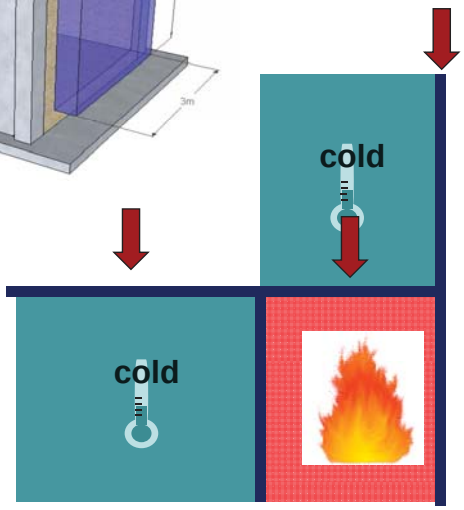
Loading closer to the real case

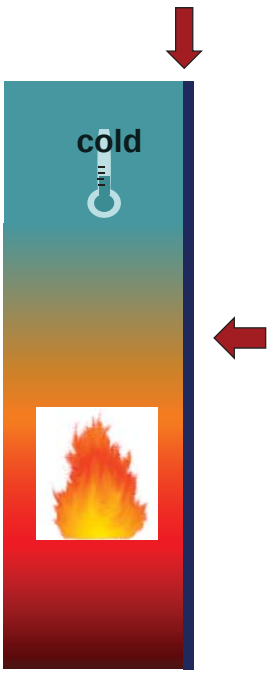
Capacity to **"test"** larger size structures

CSTB
le futur en construction

VULCAIN TO SUPPORT FIRE SAFETY ENGINEERING: INHOMOGENEOUS FIRE LOADS & 3D







CSTB
le futur en construction

FIRE SPREAD ON WOODEN FACADES

27