

Académie de l'Air et de l'Espace
Air and Space Academy

Upcoming Technical Challenges for the Aero engines of the 21st Century

Evolution or Revolution ?

Jacques Renvier

Snecma VP



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

OUTLINE

■ Context – Drivers

■ Goals & Route

■ Some technology packages

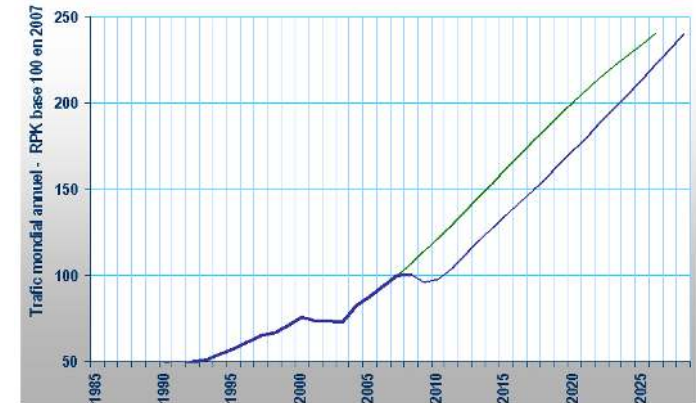
■ Conclusion

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

AIR TRANSPORT CONTEXT

Increasingly demand for Air Transport

- Wide ranging interest in society :
 - business, trade, tourism
- Concerns :
 - all world regions
 - large emerging markets
- 4,5% predicted annual growth
- ~ 30 000 aircraft to be delivered in the next 20 years



A Strong Future for Air Transport, if....

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

... CONDITIONS FOR GROWTH

Economy

- Strong demand for air transport ... but not at any price
- At 75\$/barrel, the cost of fuel represents as much as 40% of DOC of an air carrier...

...In September 2008 Jet Fuel reached 140\$ / barrel

➤ Reliability : already excellent

- ✓ 20000 cycles / 40000 hours on wing, Dispatch reliability : 99,98%
- ✓ Start and run, no surprise



Enduring Growth : environmental impact & ressources

- Emissions
- Noise around airports
- Fuel availability



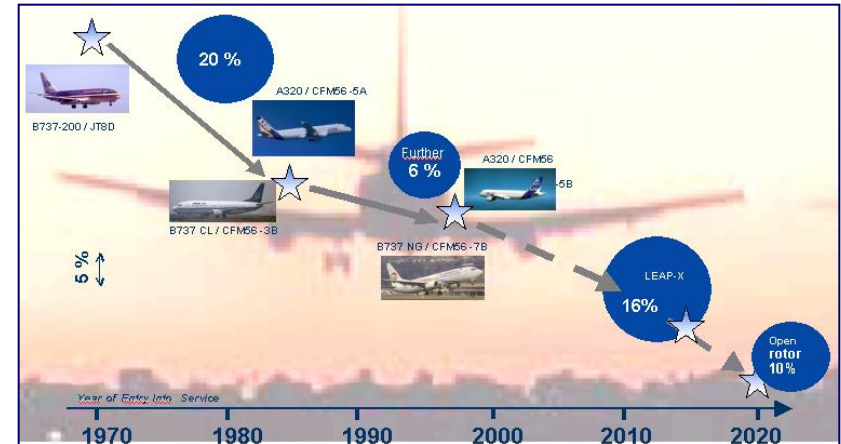
**Strong issues require strong levers
Technology as an answer**

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

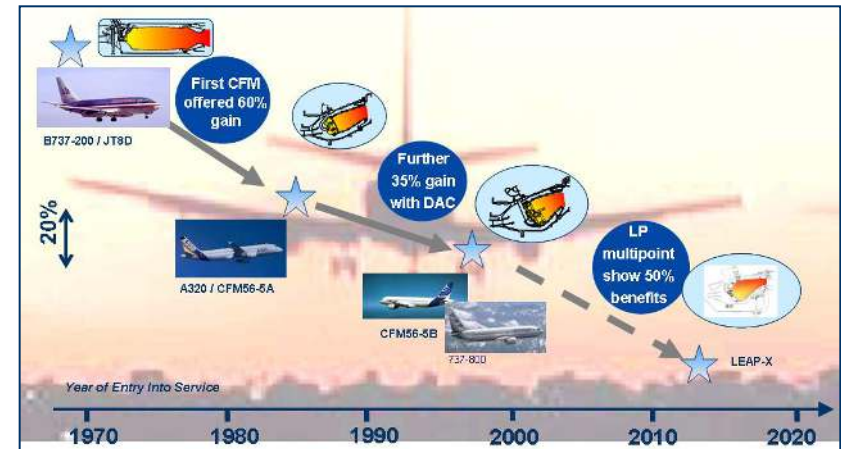
Aircraft / Propulsion Systems Environmental Performance

- **Significant Progress Achieved since the 70s**
 - ✓ Breakthroughs & Continuous Improvement
- **Need to maintain similar trends for future products**
 - ✓ Breakthroughs ?
 - ✓ Continuous improvement ?

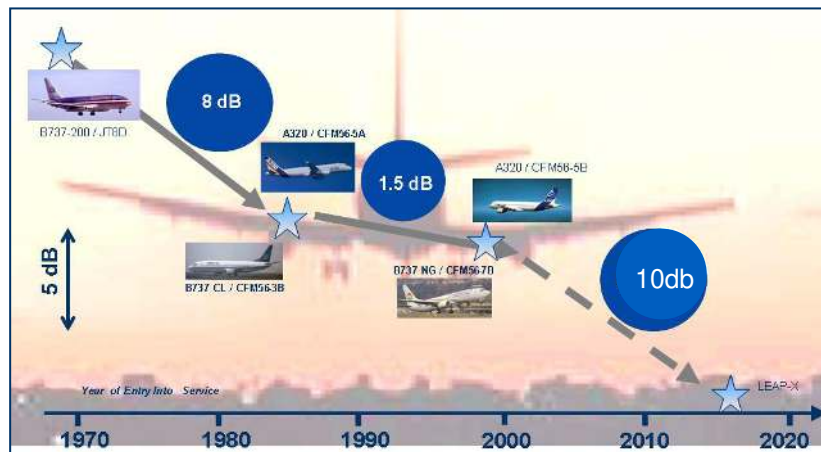
• Fuel Burn / CO2 Emissions



• NOx Emissions



• Noise



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

OUTLINE

■ Context – Drivers

■ Goals & Route

■ Some technology packages

■ Conclusion

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Context : ACARE (*) Objectives

EUROPEAN INDUSTRY HAS COMMITTED ACARE OBJECTIVES FOR A DRASTIC REDUCTION OF NOISE, NOX, AND CO2

Objective ACARE 2020

- To reduce perceived noise by half
- To reduce NOx by 80% and other emissions
- To reduce CO2 by 50%



ATM contribution

Aircraft contribution

Engine contribution

- To reduce noise by 6dB per operation
- To reduce NOx by 60 to 80%
- To reduce fuel burn by 20%

(*): Advisory Council for Aeronautics Research in Europe. Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Conférence ANAE Bruxelles J.Renvier Avril 2011

ARCHITECTURE OPTIONS DRIVEN FACTORS

Aircraft specifications

- Thrust
- Weight
- Installation...

Environment

- Noise
- Rules & Regulations
- Emissions

FAA et EASA

- Requirements



Entry into Service

Reliability maintenance

- Start & Go
- Delays & Cancellations
- Life time

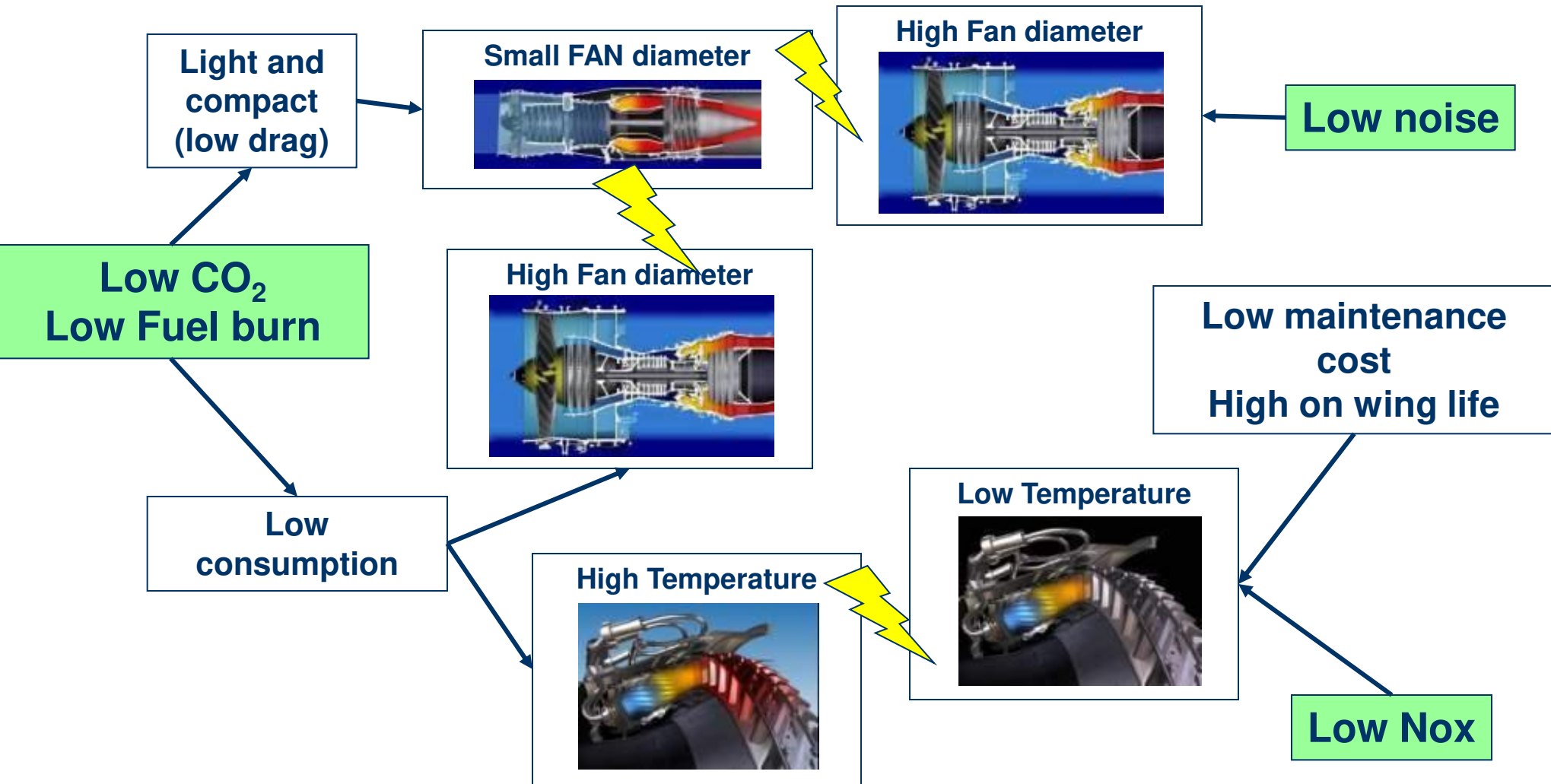
Economics

- Markets
- Operational costs
- Maintenance costs
- *Production costs*
- Re-sale value

Technology will drive solutions to resolve Conflictual Requirements

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Optimization... and Compromise



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

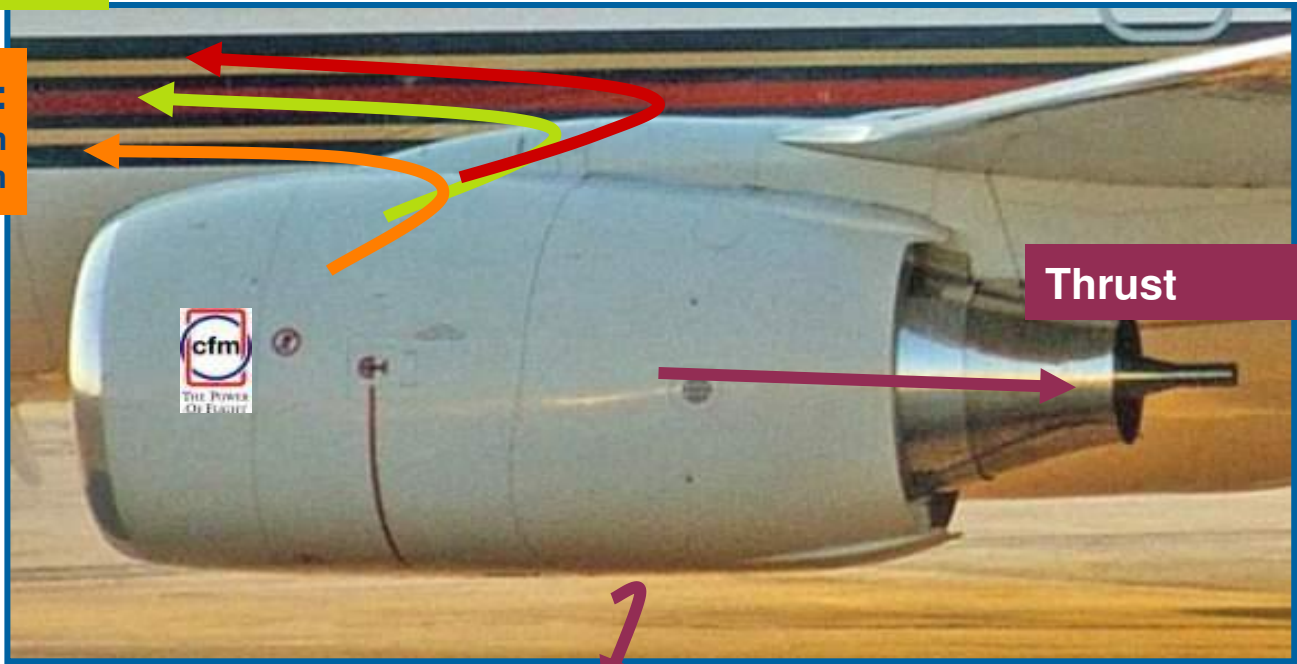


THE FONCTIONS OF A TURBOREACTOR

Electrical Energy

Hydraulic Energy

Bleed air:
cabine pressurization
& ventilation system



Thrust

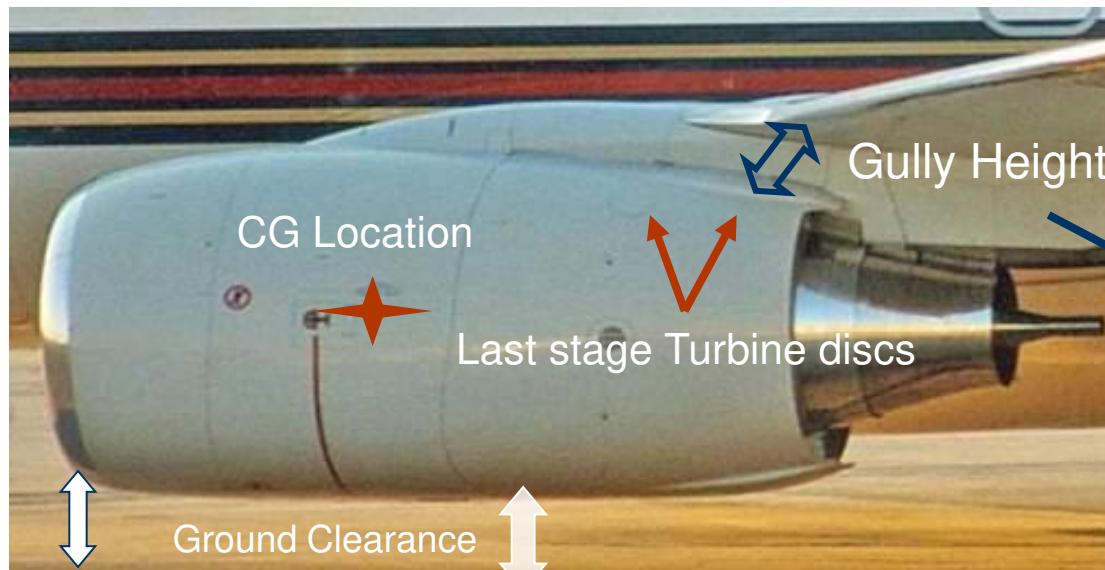
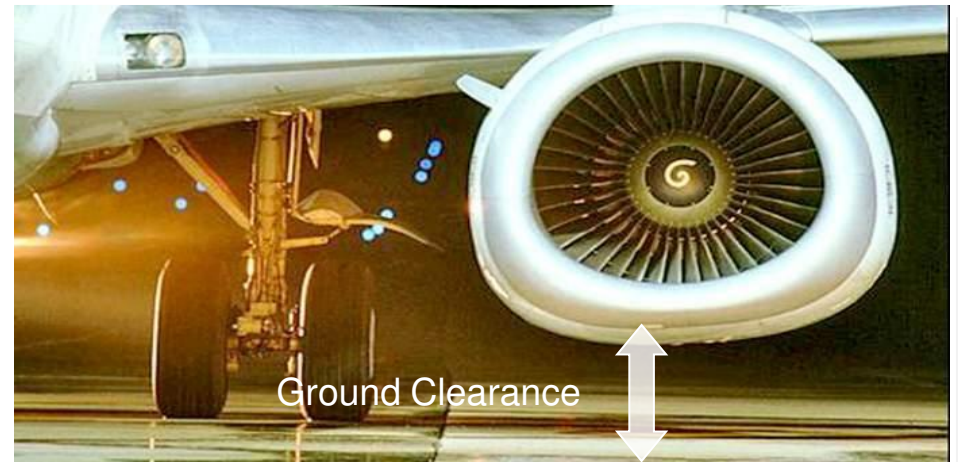
Reverse

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

POWER PLANT INSTALLATION CONSTRAINTS

Aircraft Requirements drive Engine design and performances

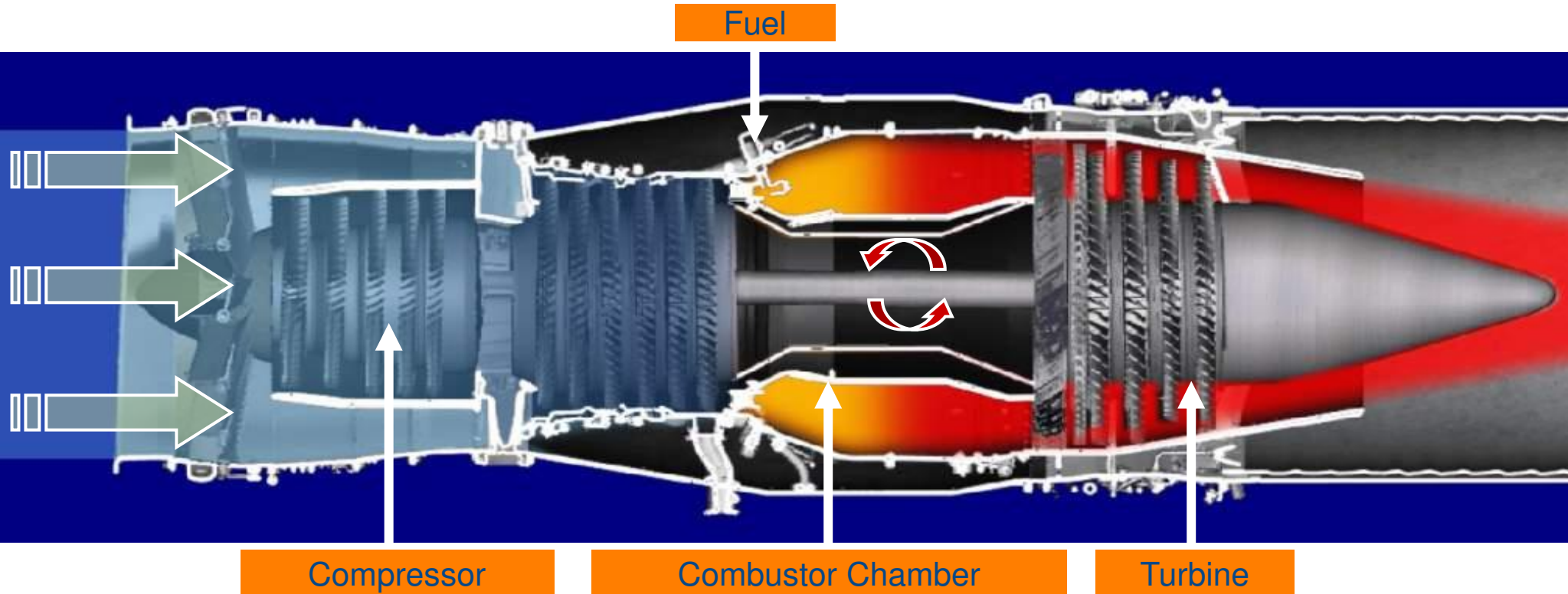
- 10% TO Thrust ~1.5%FB
- Architecture options



Pylon Design
Accessories' installation

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

PRINCIPLES OF A JET ENGINE

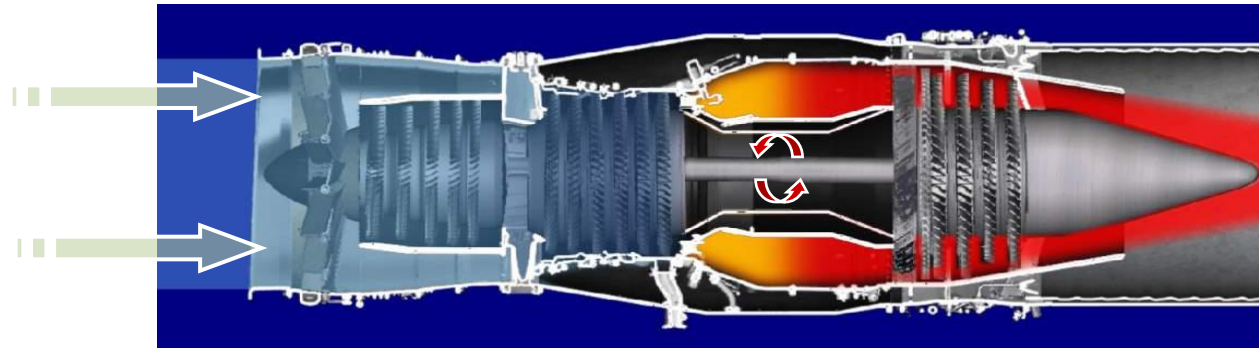


The turbines pull the compressors

The fuel supplies energy to the system

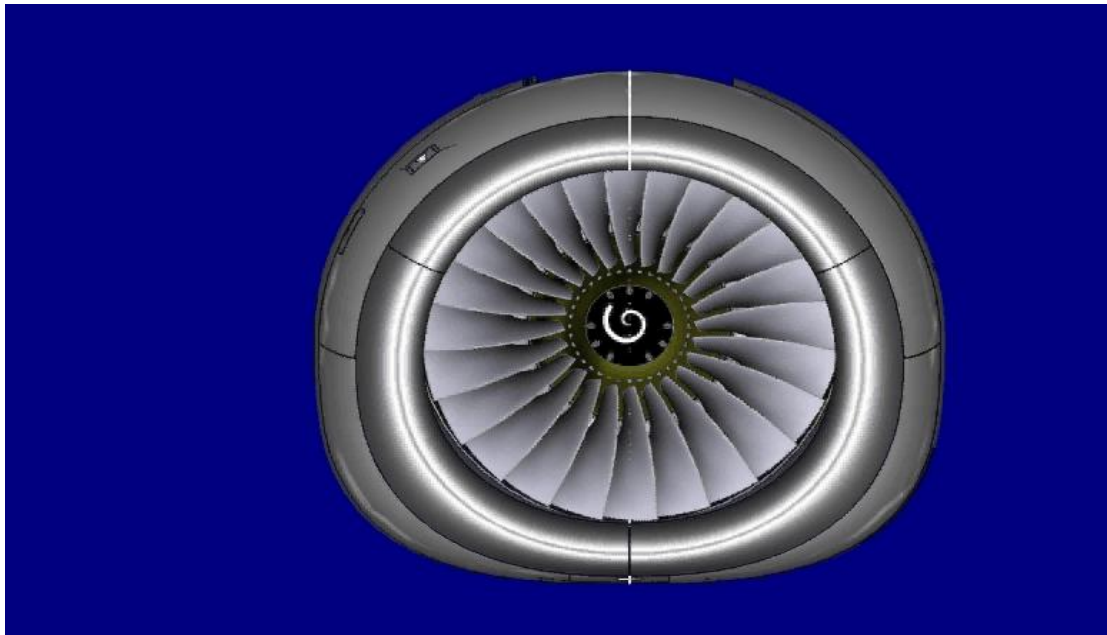
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

JET ENGINES ARCHITECTURE



Turbojet
Single Shaft

Low diameter

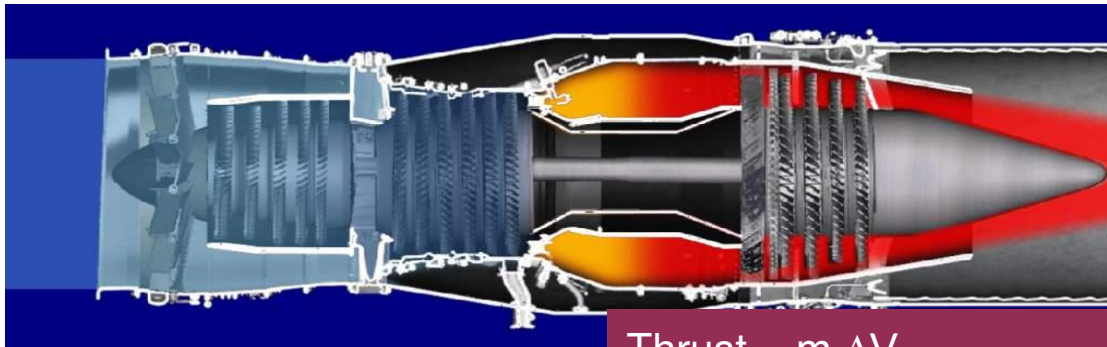


Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.



ENGINE ARCHITECTURES

Turbojet



$$\text{Thrust} = m \Delta V$$

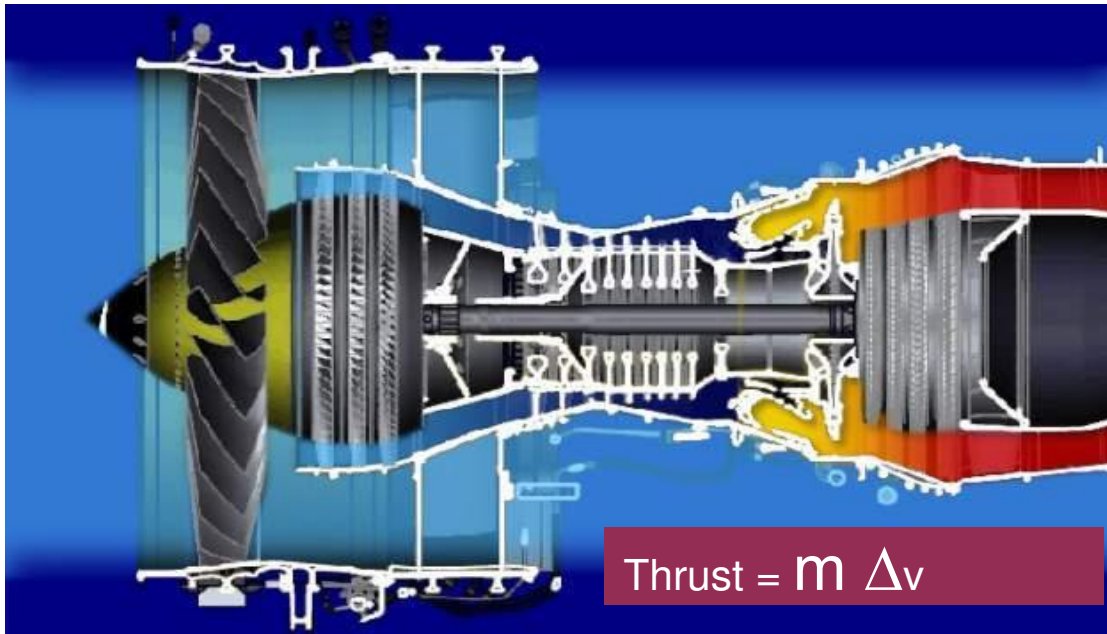
Low By pass ratio

Lower air flow 'm'

Lower diameter , fit military A/C installation, Fast response time,

high exhaust velocity
increased noise level

Turbofan



$$\text{Thrust} = m \Delta v$$

High By pass ratio

Large flow 'm'

Lower exhaust velocity v Low noise / low emission

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Powerplant performance improvement

Fuel Burn:

$$FB = \int w_f dt = f \left[SFC, Wt, Nacelle Drag \right]$$



Specific Fuel Consumption:

$$SFC = \frac{w_f}{F_n} \approx \frac{v_0}{\eta_{overall} \cdot FHV} = \frac{v_0}{\eta_{thermal} \cdot \eta_{propulsive} \cdot FHV}$$

OPR, Temperatures By Pass ratio
Core Effs
Cycle cooling
And Fan PR

$$\eta_{th} = \frac{PW_{airflow}}{PW_{fuel}}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{OPR^\gamma \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_0^2 \right)}$$

Thermal Efficiency:
Energy available on Engine / Energy given to the Engine

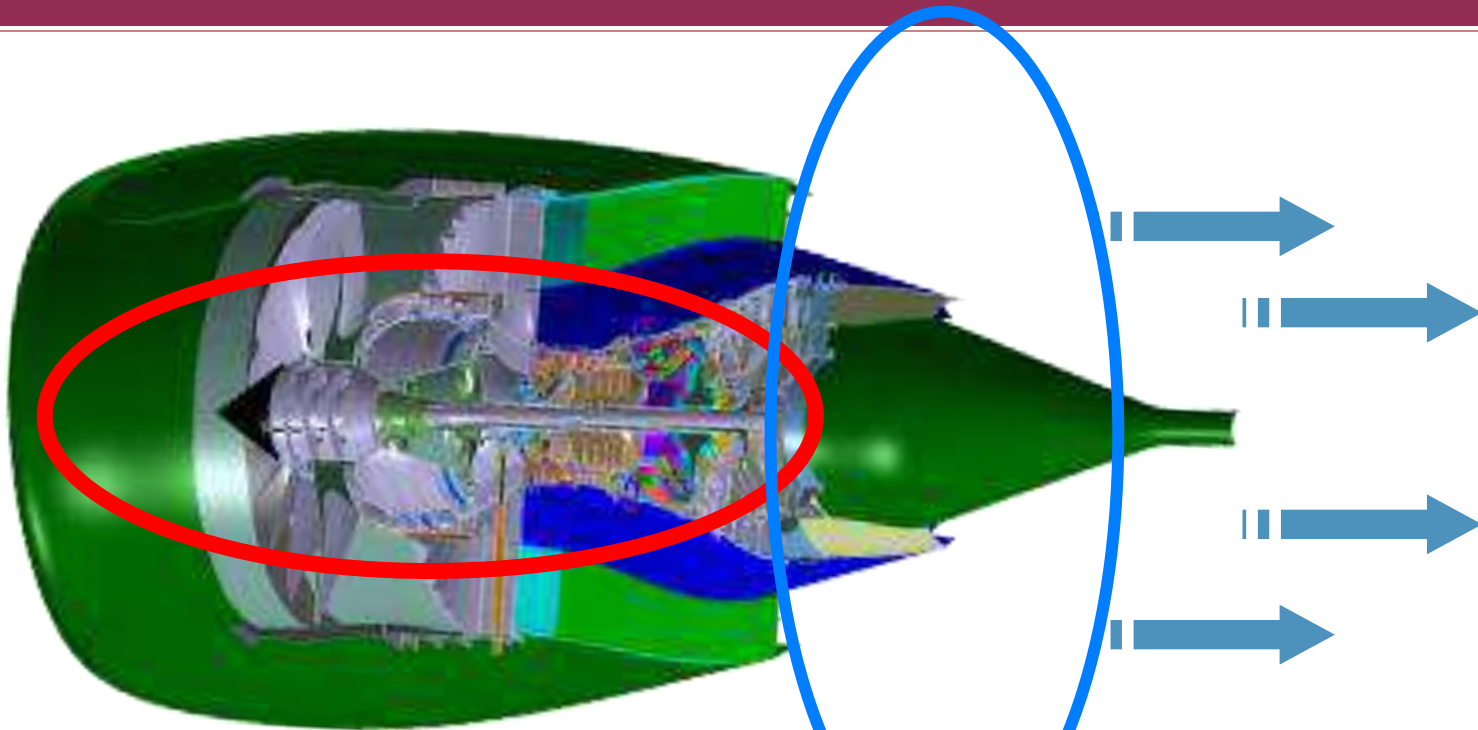
Propulsive Efficiency:
Energy received by Aircraft / Energy Available on Engine

$$\eta_{pr} = \frac{PW_{aircraft}}{PW_{airflow}}$$

$$\eta_{pr} = \frac{2}{1 + \frac{V_{19}}{V_0}}$$

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être divulgués à des tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

THE THERMODYNAMICAL CONSTRAINTS



Thermal and transfert efficiency

increase Pressure ratio and temperatures

Component efficiency

Cooling technology

High temperature material

Propulsive efficiency:

Increase air flow

Decrease jet velocity

Installation, drag and Weight ↗

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.



Propulsion Systems: Principles

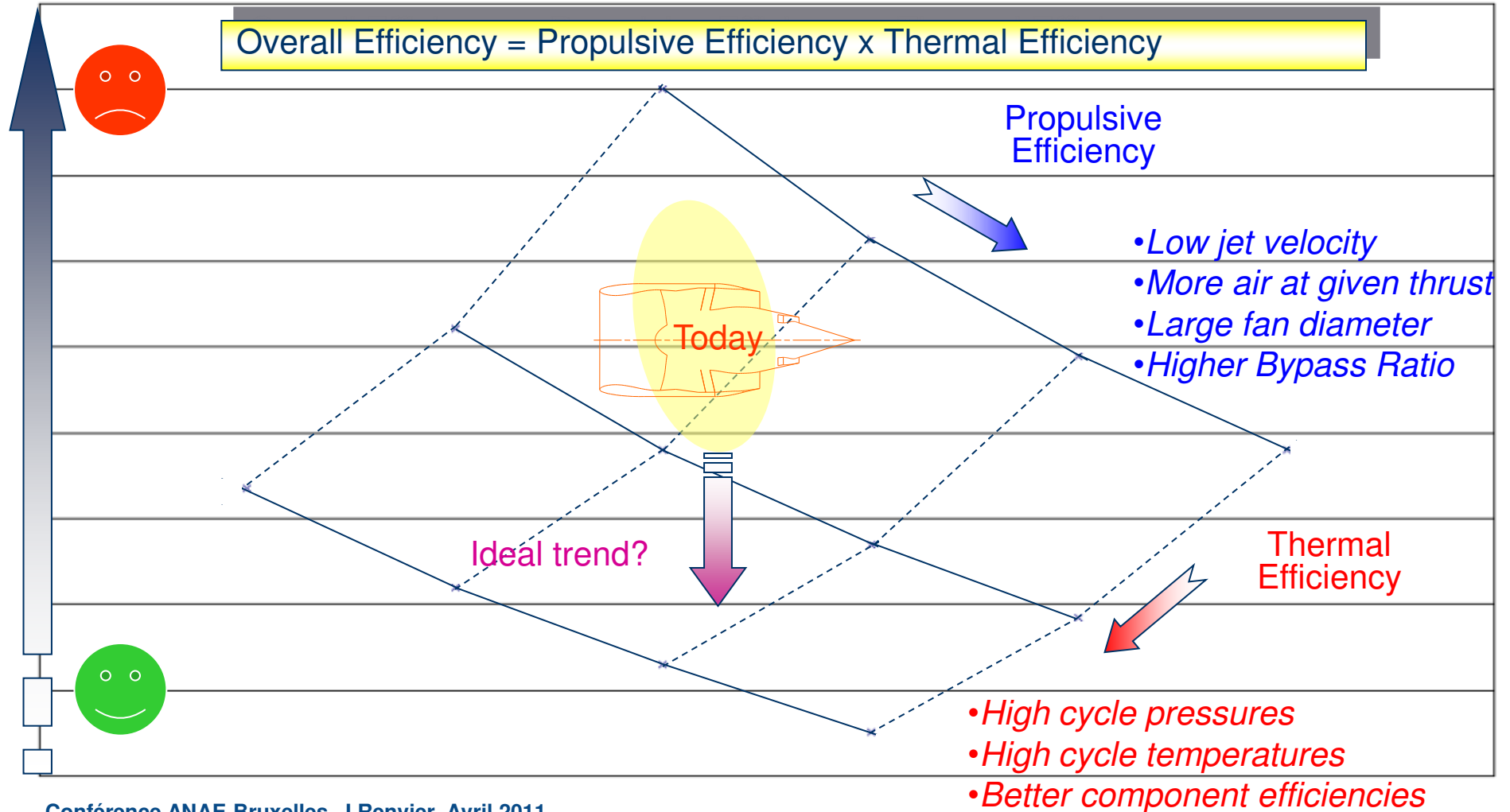
Engine Specific
Fuel Consumption

=

Fuel burnt for a given thrust
produced

(Kg fuel / hour / Kg thrust)

Overall Efficiency = Propulsive Efficiency x Thermal Efficiency



Improving Thermal Efficiency...

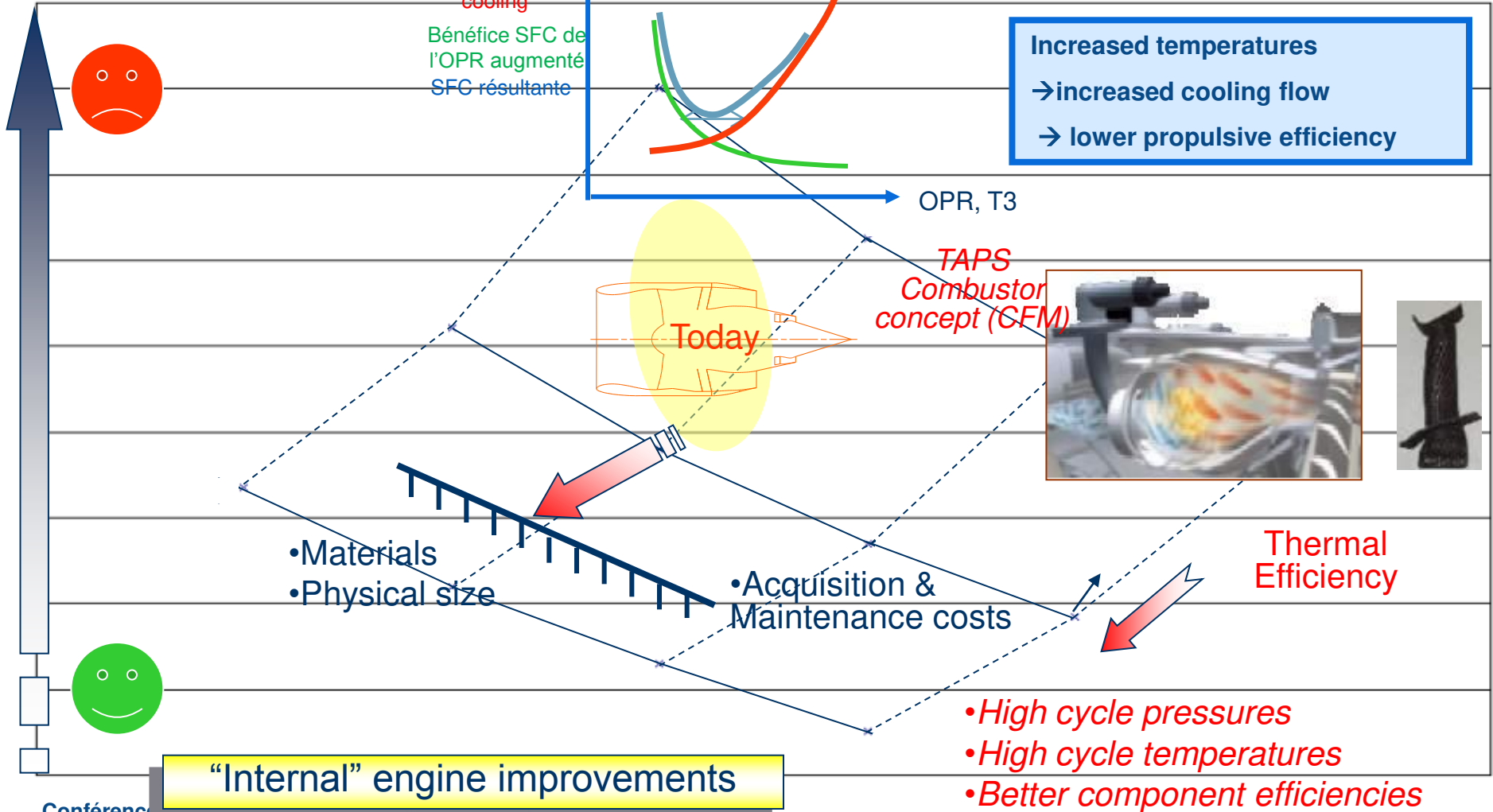
Engine Specific Fuel Consumption

Fuel burnt for a given thrust produced

(Kg fuel / hour / Kg thrust)

Impact SFC du cooling
Bénéfice SFC de l'OPR augmenté
SFC résultante

Increased temperatures
→ increased cooling flow
→ lower propulsive efficiency



“Internal” engine improvements

- High cycle pressures
- High cycle temperatures
- Better component efficiencies

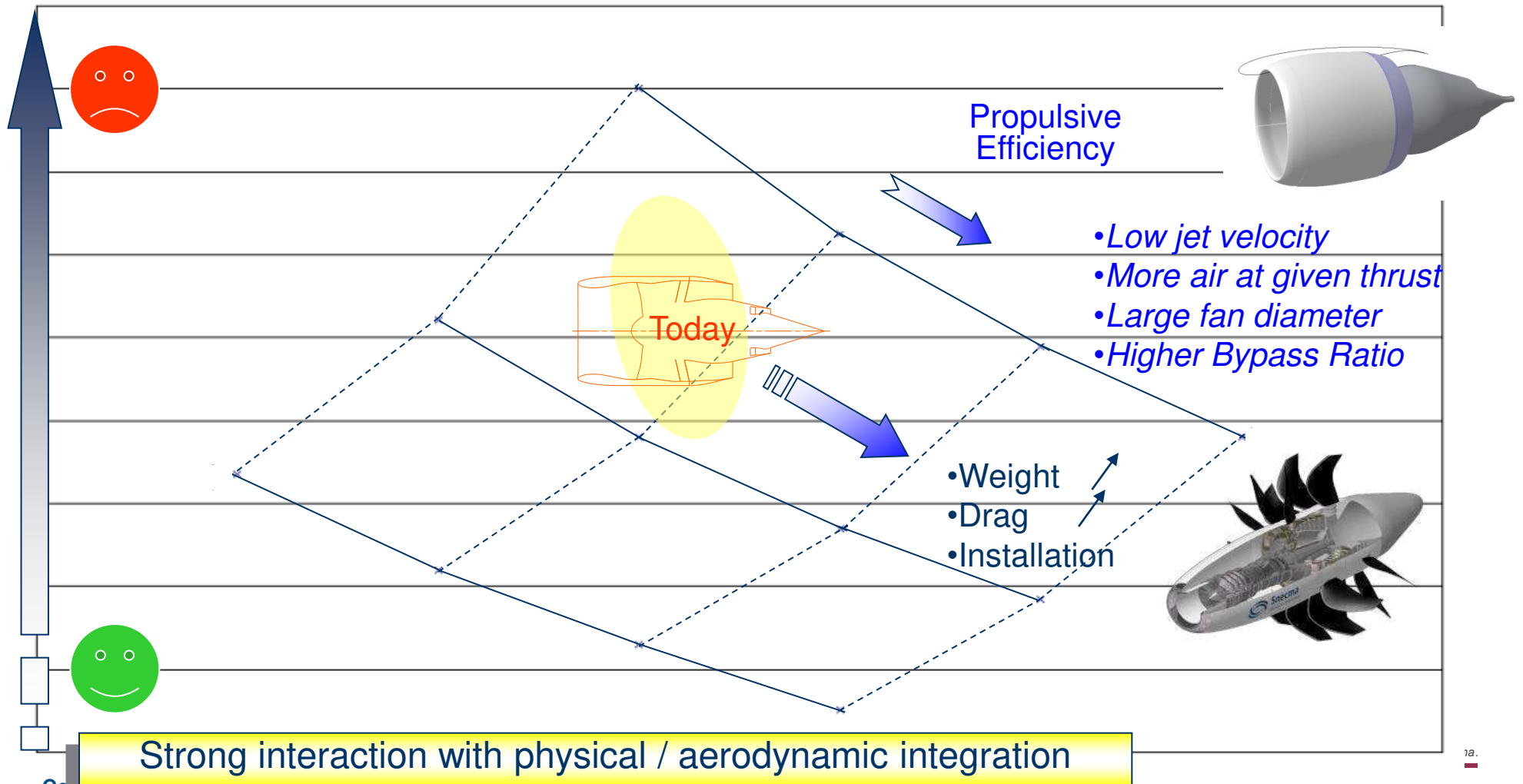
Improving Propulsive Efficiency

Engine Specific
Fuel Consumption

=

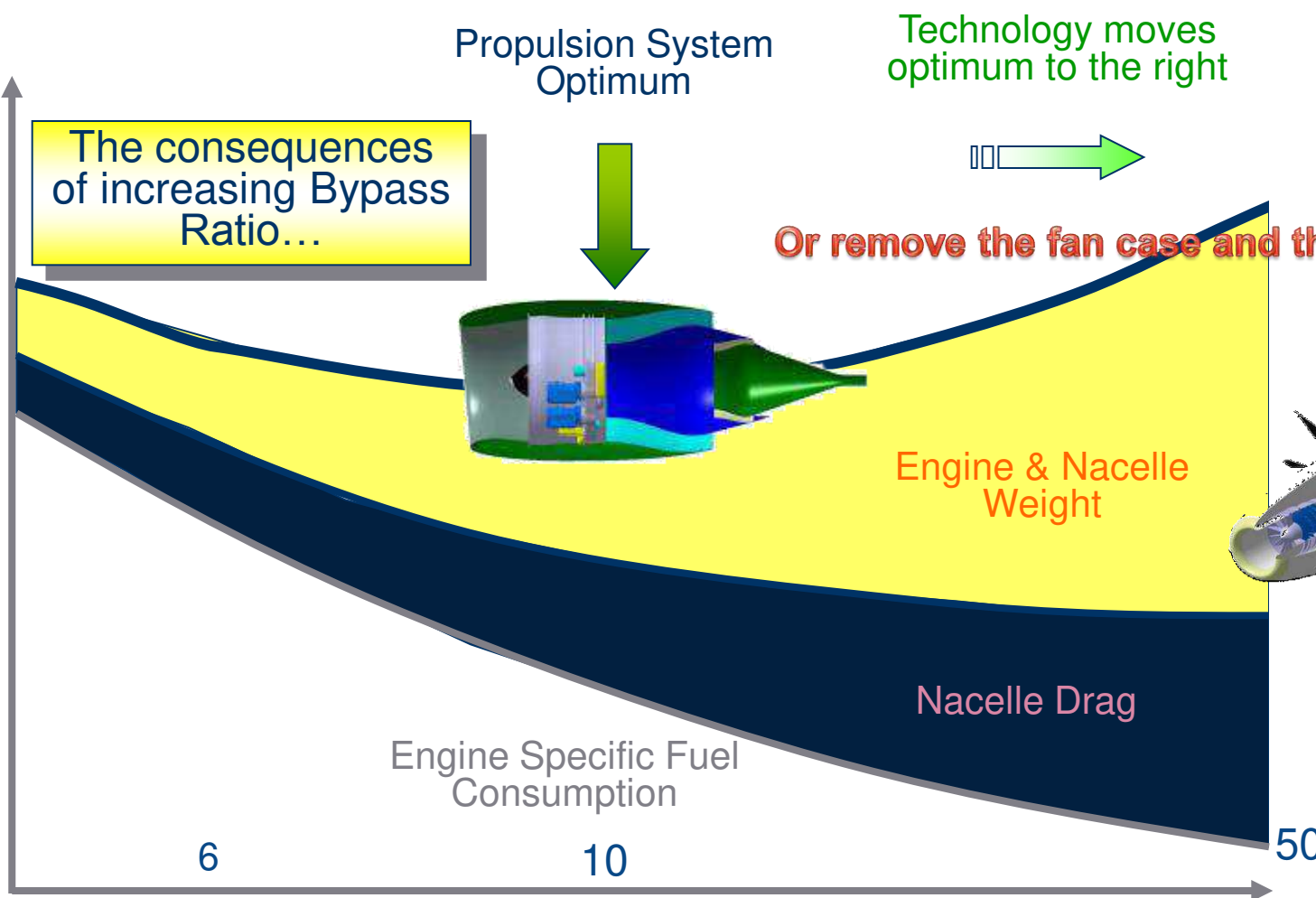
Fuel burnt for a given thrust
produced

(Kg fuel / hour / Kg thrust)



Aircraft Fuel Burn

Fuel Burn



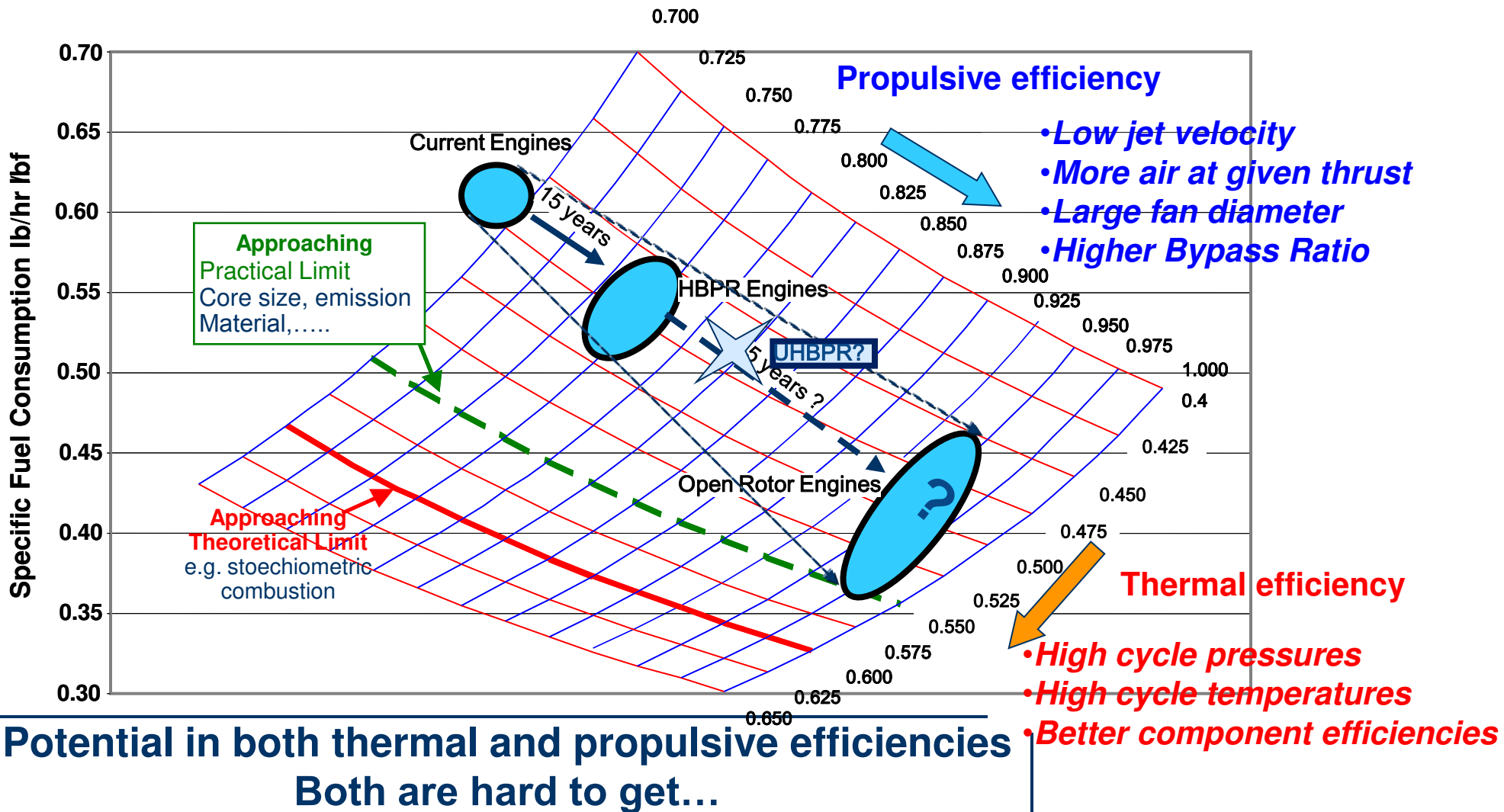
Bypass Ratio – Fan Diameter

(Propulsive Efficiency)

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.



Thermodynamics show the way



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

LEAP-X Fuel Burn improvement : 15%

Current Narrowbody engine



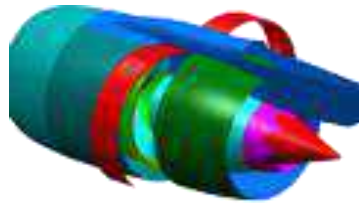
45%

- Increased bypass ratio
- High propulsive efficiency



45%

- High pressure ratio core
- High thermal efficiency
- Advanced cooling technologies

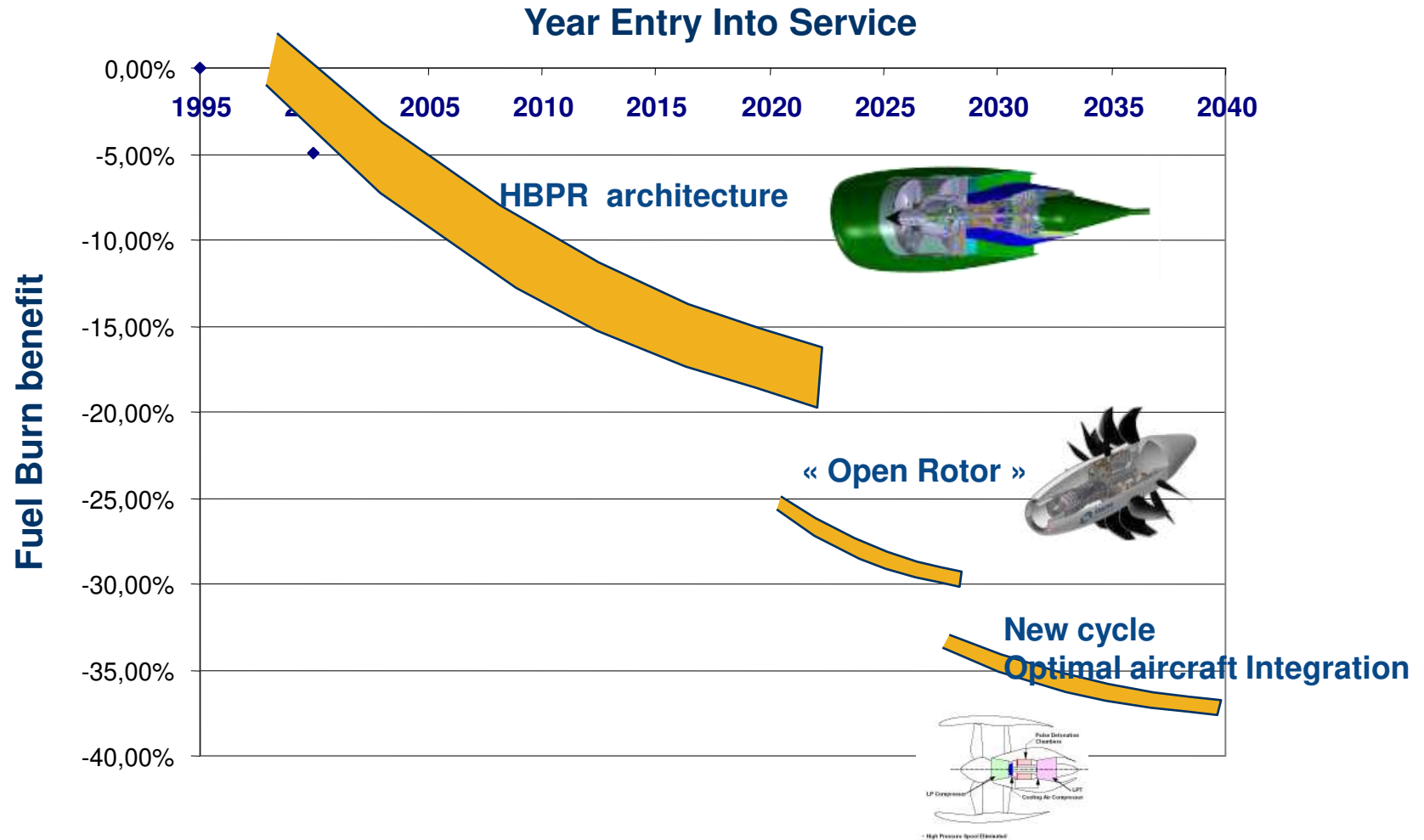


~10%

- Advanced Engine Systems

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Engine Architecture Road Map : 3 horizons

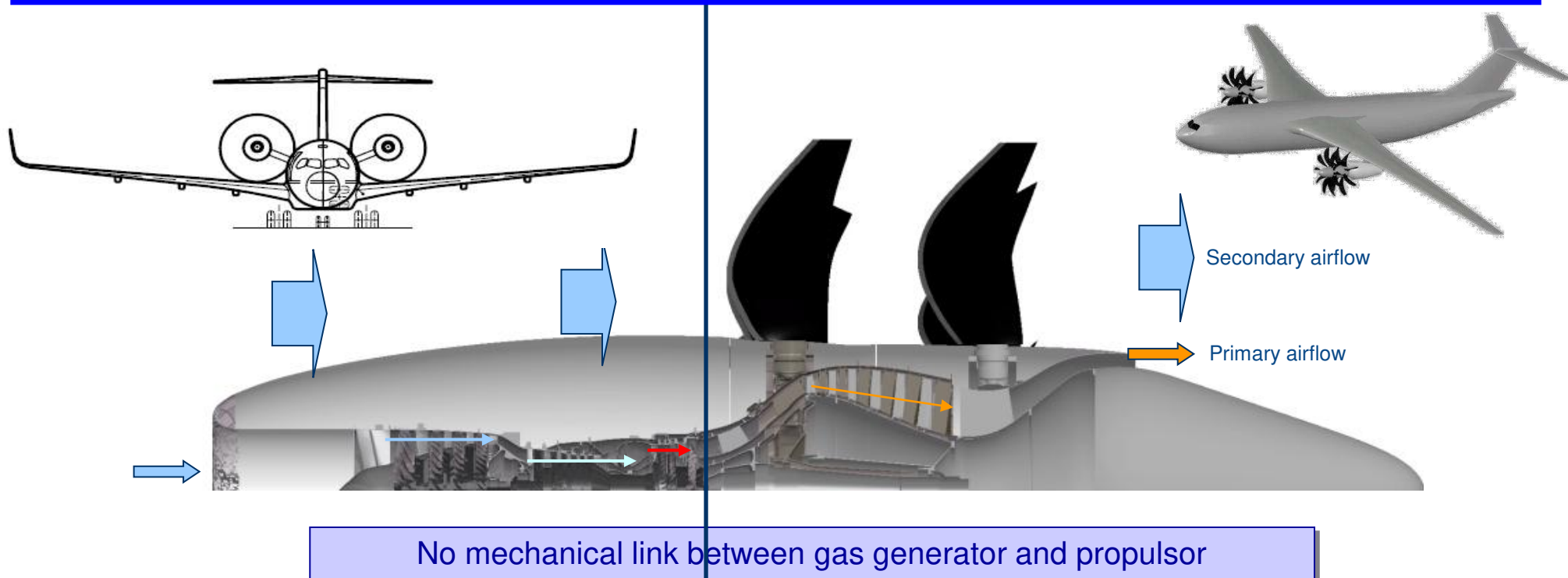


Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Open rotor engine architecture

Key Technologies to be developed:

- *Aeroacoustic design : Noise control (level and frequency)*
- *The certification conditions : propeller, turning structures....*
- *Propeller and pitch comand*
- *The propulsor/aircraft integration: mechanical , aero acoustic, acoustics propagation, mounts*



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Concepts beyond 2030+

- **Advanced engine / core concepts including Non-Brayton cycles**
 - ✓ E.g. : / Hybrid PDE, wave rotor
- **Performance maximized for “low Pressure ratio”: distributed propulsion**

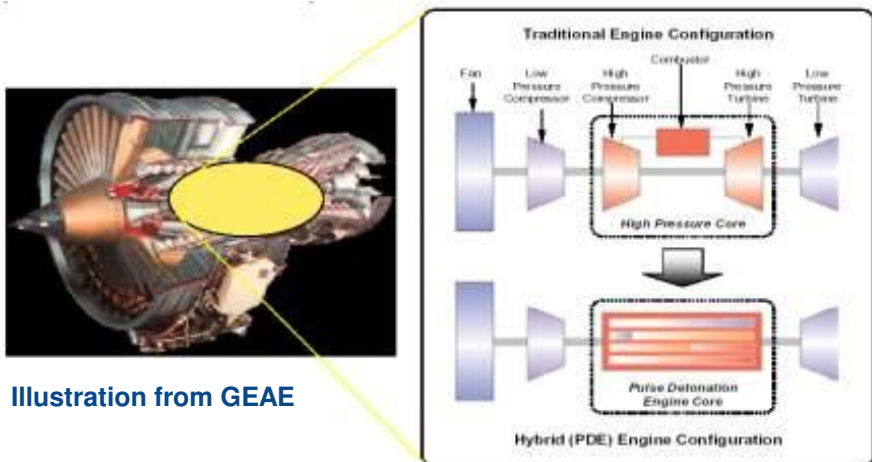
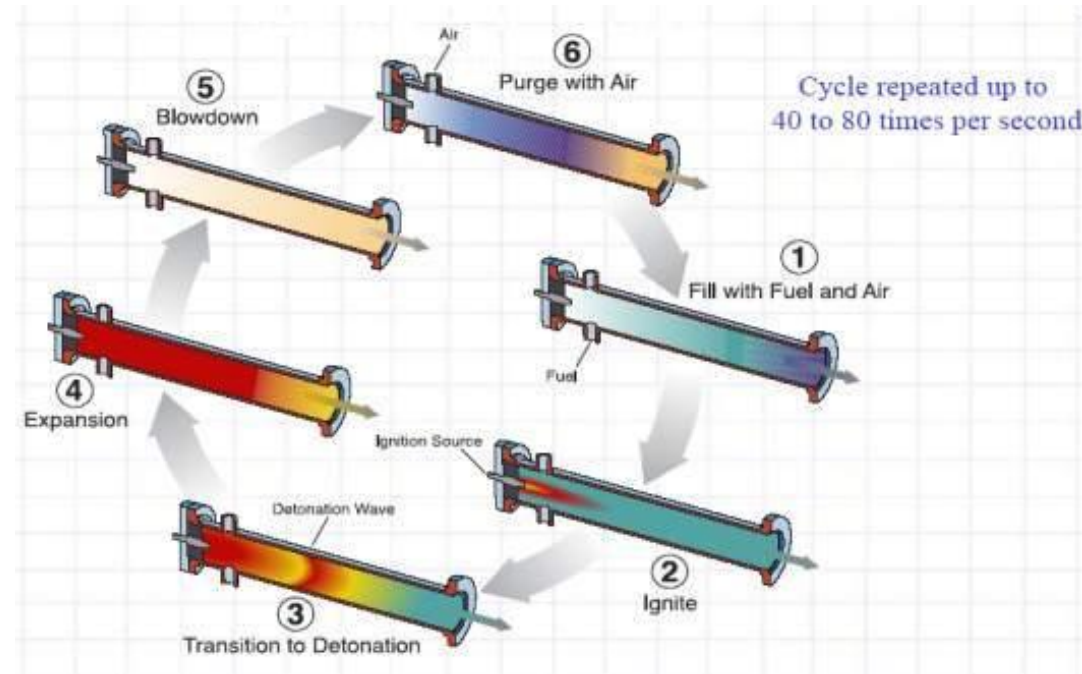


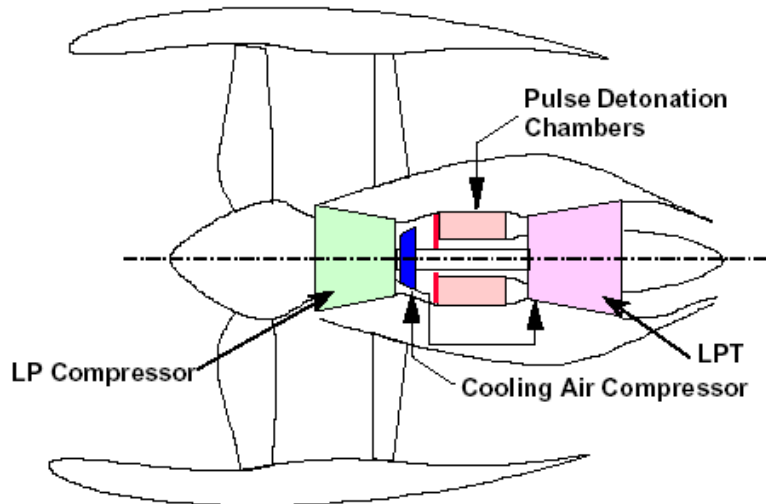
Illustration from GEAE



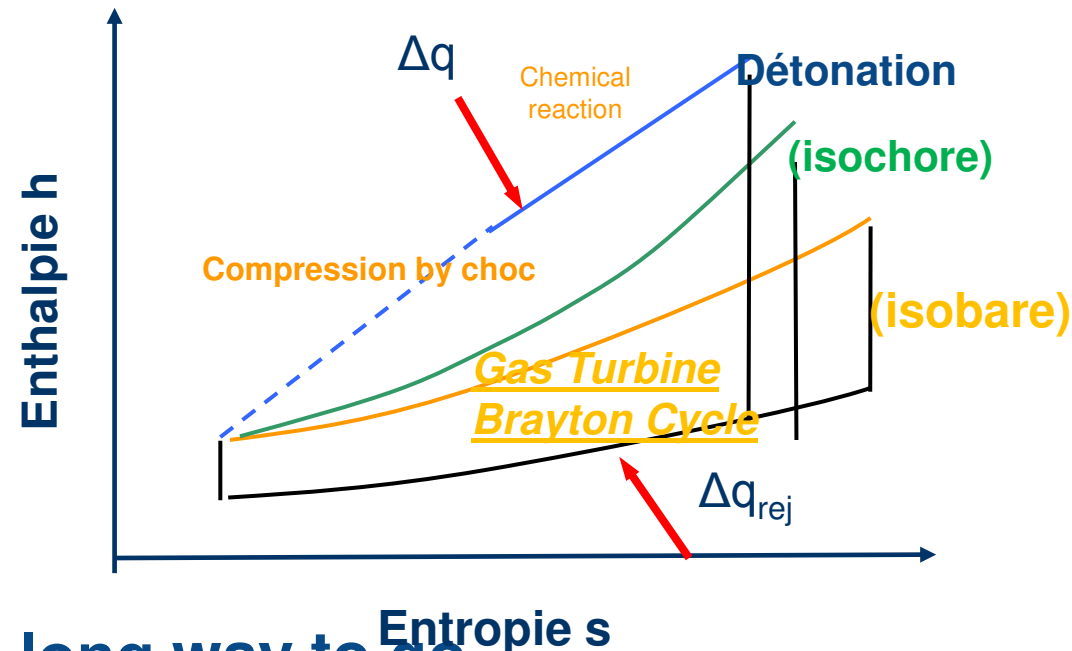
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Advanced Cycle

Pulse detonation Cycles / Wave rotor.....



• High Pressure Spool Eliminated

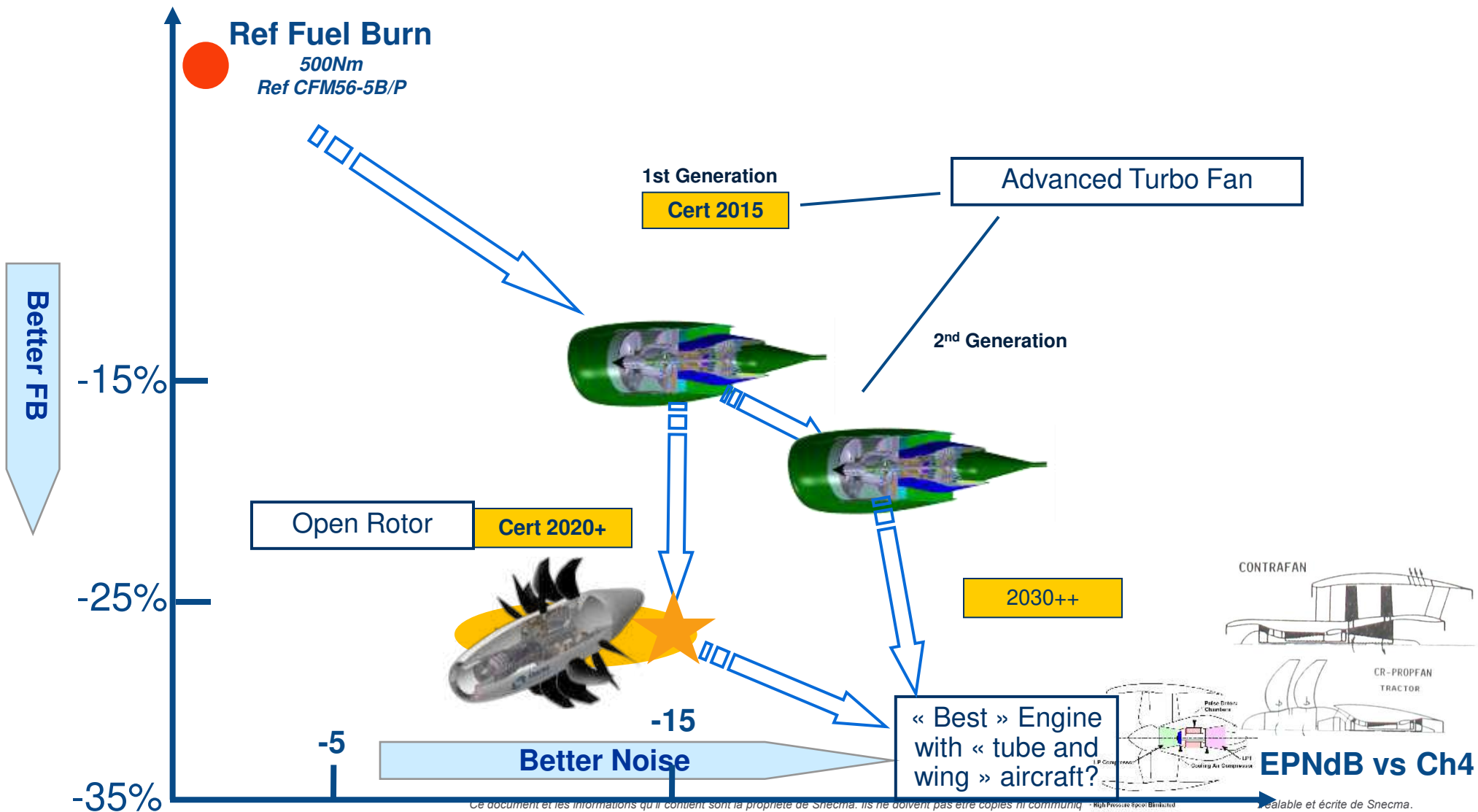


Hybrid /Electric:.....a long, long way to go.

- Energy and Power Density potential for Batteries ?
- Aircraft concept to be revisited

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Architecture Road Map – Fuel Burn / Noise



Concepts beyond 2030

➤ New aircraft configuration, e.g. : Blended Wing Bodies

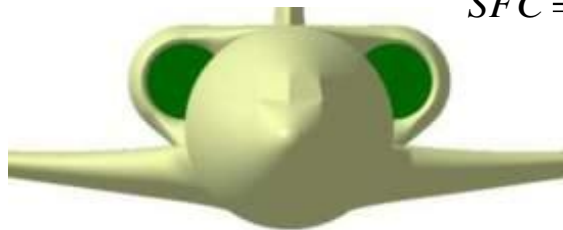
- ✓ Mostly considered for large aircraft
- ✓ Proposed either with
 - *Embedded propulsion*
 - *Over-fuselage propulsion (turbofan or open-rotors)*
 - *“Distributed” propulsion*



Opportunities for medium thrust engines ?

➤ Highly integrated propulsion systems for Tube & Wings aircraft, e.g. :

- ✓ Rear fuselage semi-embedded or embedded propulsion: inlet air velocity lower than Aircraft speed



Front View

$$SFC = \frac{Wf}{FN} = \frac{Wf \cdot FHV}{FN \cdot V_0} \frac{V_0}{FHV} = \frac{V_0}{\eta_{thp} \cdot FHV}$$

$\underbrace{\frac{Wf \cdot FHV}{FN \cdot V_0}}_1$

Semi Embedded engines



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

OUTLINE

- **Context – Drivers**

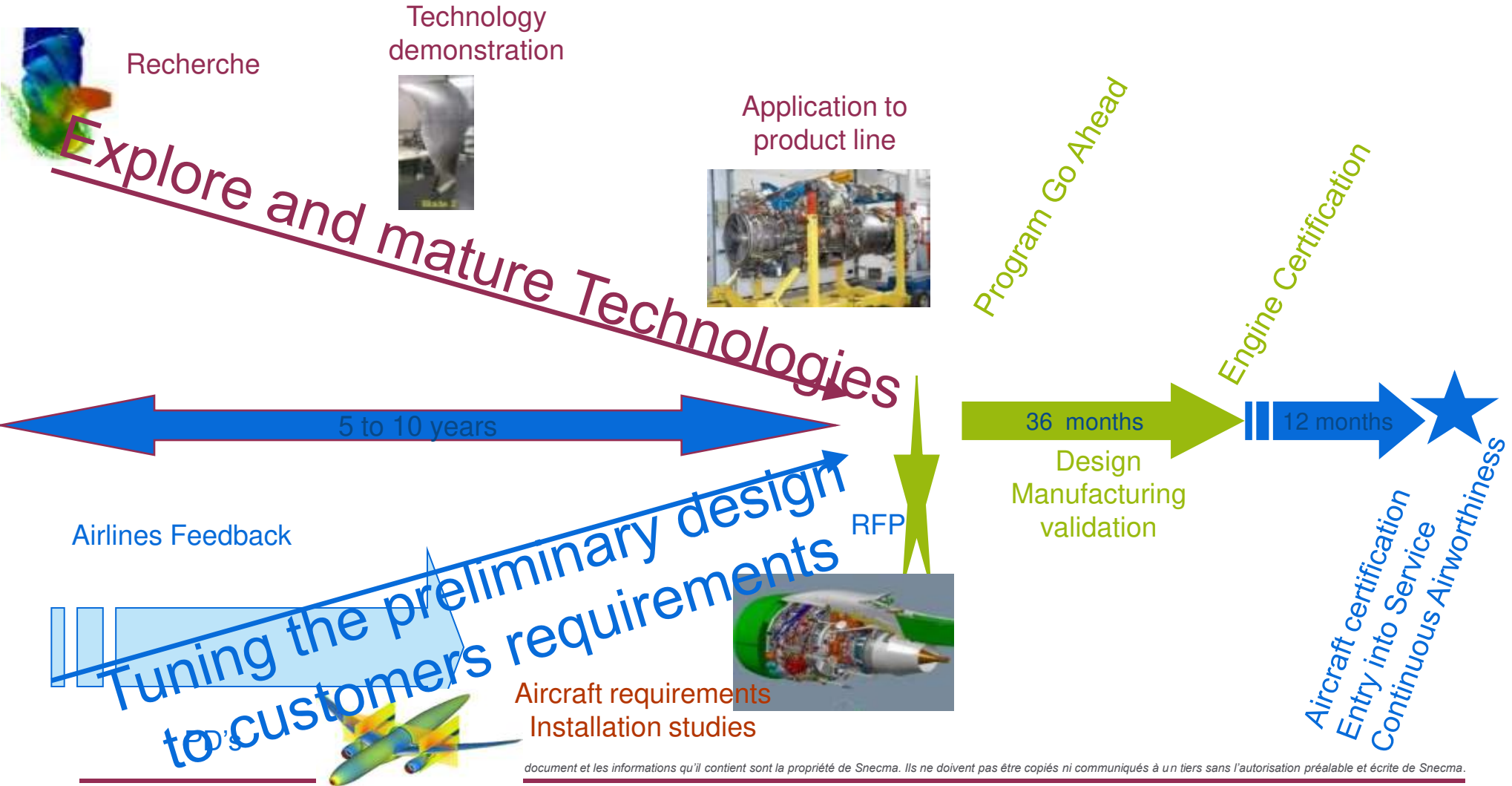
- **Goals & Route**

- **Some technology packages**

- **Conclusion**

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

TECHNOLOGY ACQUISITION AND VALIDATION



document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.



Technology Requirements: Fuel burn, environment, economics

Composites

weight, reliability

New materials and associated processes

Organic composites
Ceramic composites



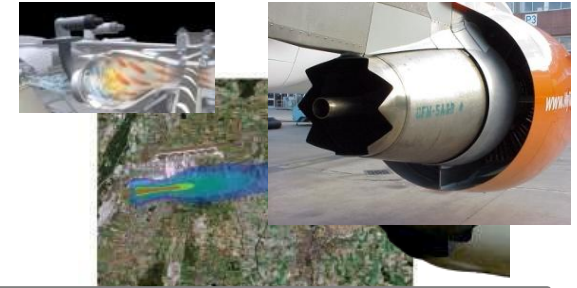
Performance

Efficiency:aero, clearance
control,cooling



Acoustic, Emission

Minimise performance impact



Optimized components
Work the Physics
Multidisciplinary and integration
Enhance cooperation with Research Labs

Associated advanced modelling
Unsteady phenomena : instability, noise
Materials for damage tolerance
Processes for robustness

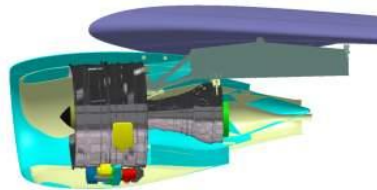
High temperature

fuel burn, cooling
technology,weight, reliability



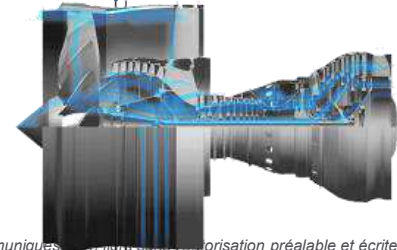
Integrated propulsion system

Weight, performance, reliability...



Health monitoring:

no surprise, maintenance cost



Ce document et le... Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

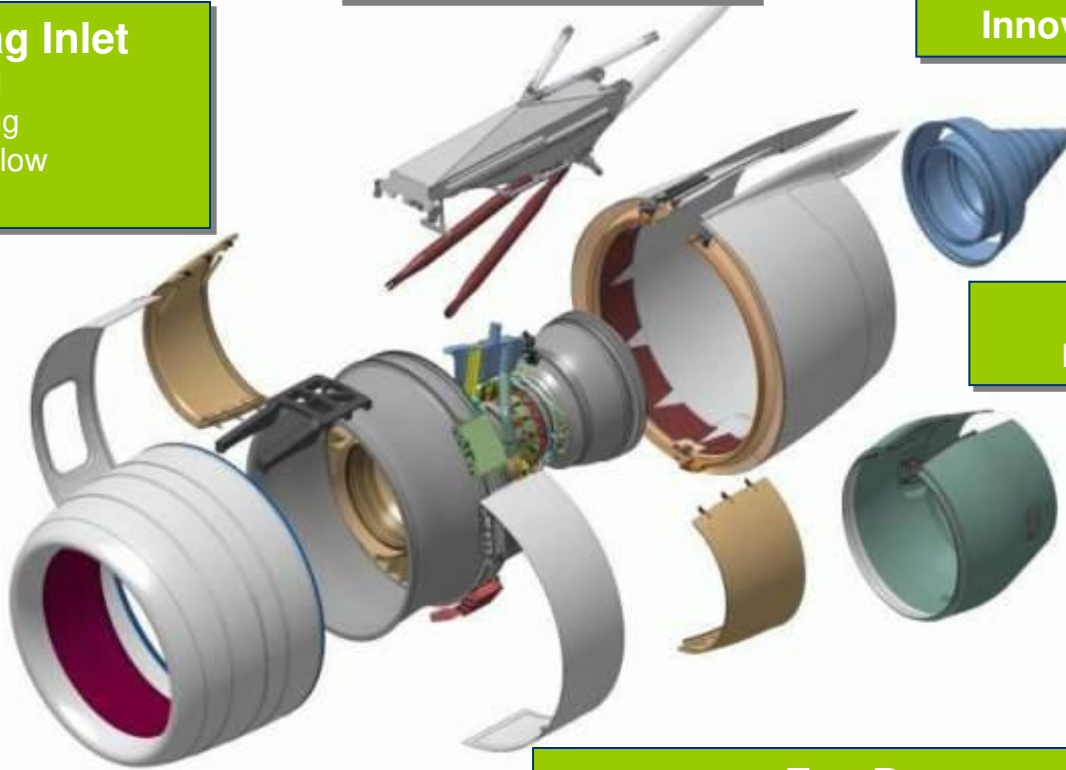
Integrated Propulsion System Technologies

Light and Low Drag Inlet
One Piece Barrel
Translating Cowling
Extended Laminar Flow
Electric Anti-Ice

O Duct
Low pressure loss
Light weight

Innovative Thrust reverser

CMC Plug
Integrated acoustic treatment



Fan Duct:
Distributed acoustic treatment
Surface exchanger
Innovative Load Paths

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété intellectuelle de Safran et/ou de Snecma. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission préalable et écrite de Safran.

3D Woven RTM composite parts

Composite fan blade

- Durability
- Weight
- Maintenance



Composite fan case

- Weight
- Stiffness
- impact capability



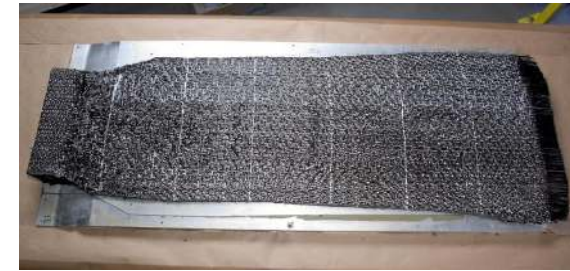
1,000 lb weight benefit per aircraft

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

3 D woven Composite blade RTM Blade Manufacturing Process



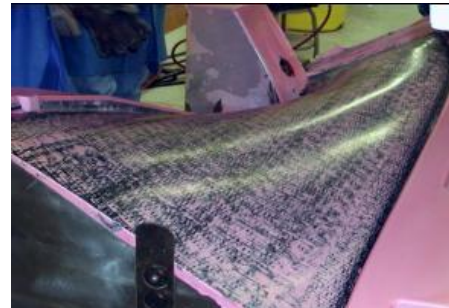
1. Preform Weaving



2. Preform Water-Jet Cut



3. Molding - Curing



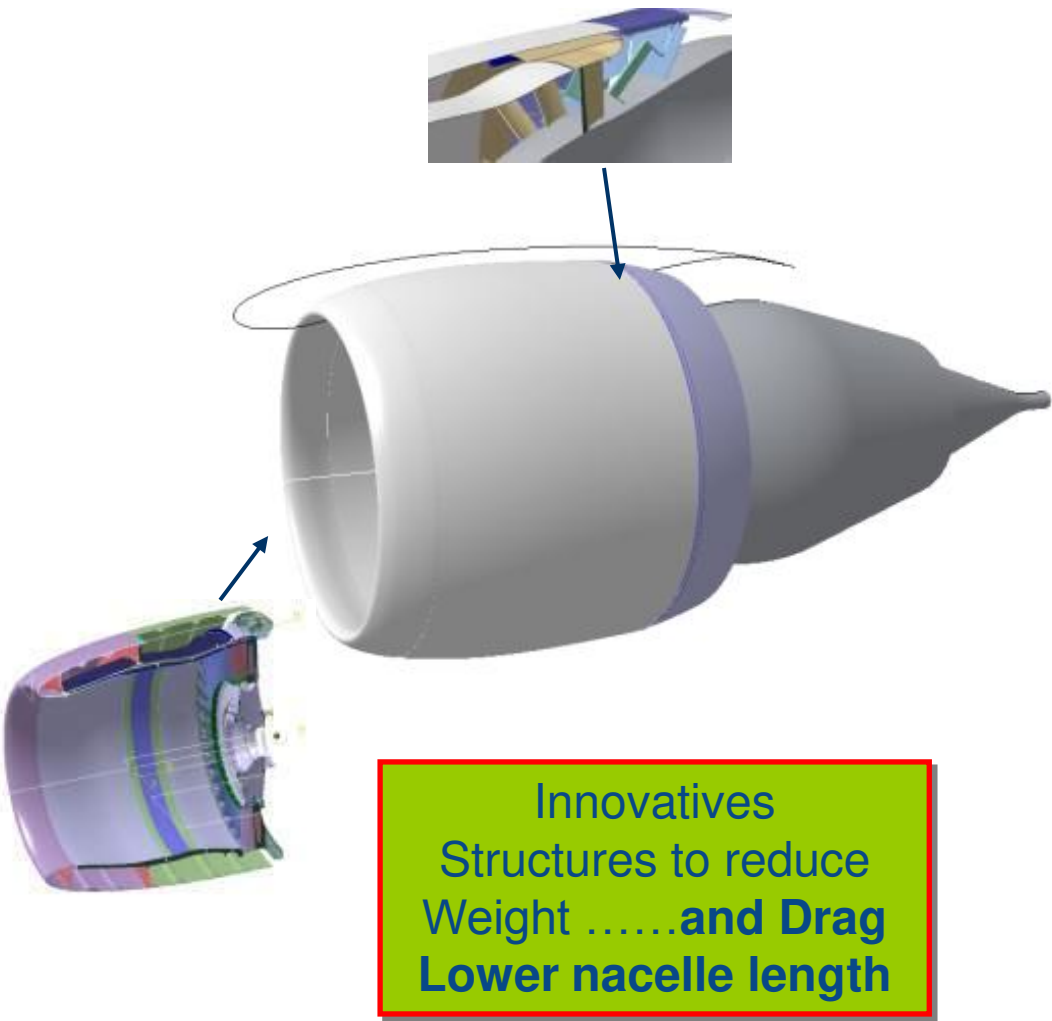
4. Blade

- High strength of fiber structure : Lower cost , Weight saving
 - Improved performances through decrease of thickness
- Develop safe life design for additional weight saving:



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Reduced weight technologies

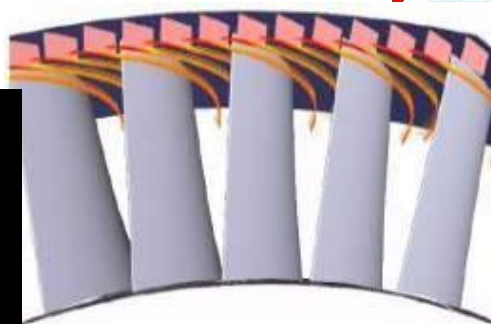
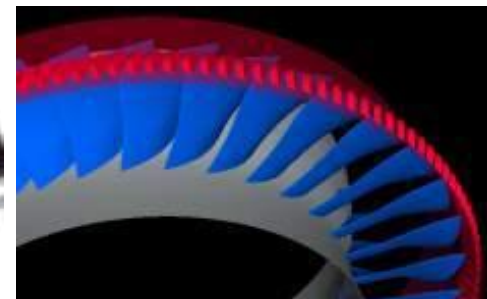
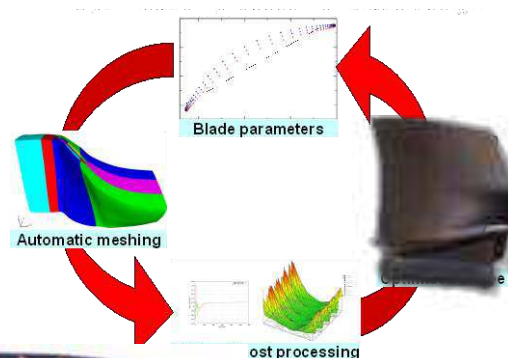


Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Advanced High-Pressure Compressor (Newac)

Highly-efficient aerodynamic

- 3D optimised of blades and vanes
- 3D casing treatments
- 3D hub shape
- Optimized bleeding for aero efficiency



Design methods and new concepts for HPC

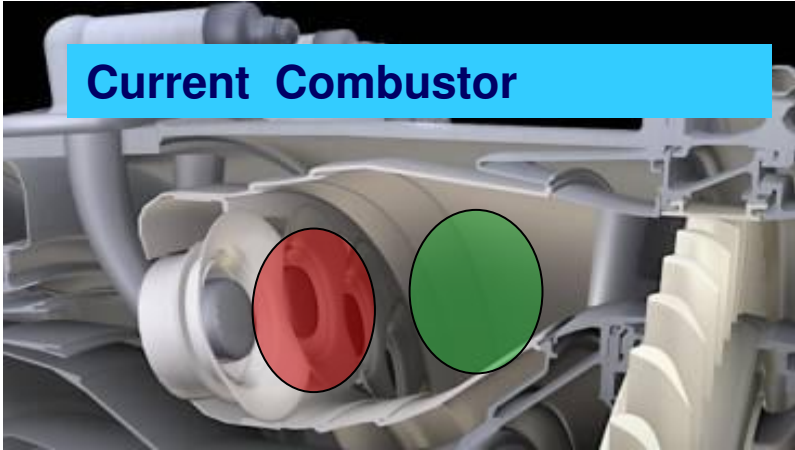
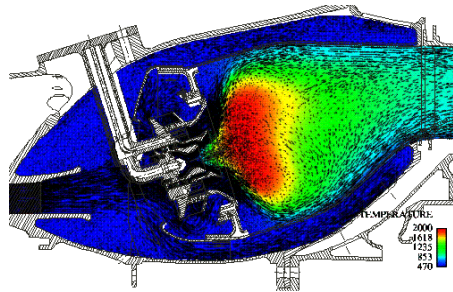


Advanced Compressor ready for tests

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

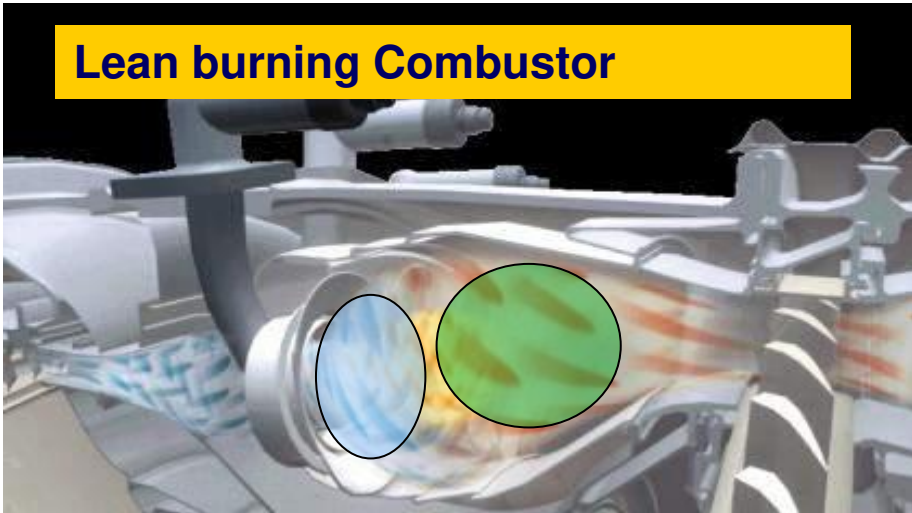
Multipoint staged injection : concept

- Multipoint staged injection
 - NOx reduced 60% below latest CAEP 6 requirements
 - Reduce CO, CH emission : pilot flow



Current Combustor

(More fuel, less air ... hotter temperatures ... more NOx)



Lean burning Combustor

(Less fuel, more air ... cooler temperatures ... less NOx)

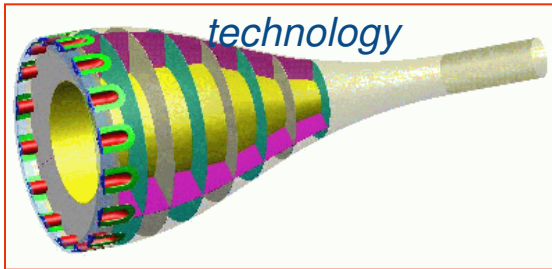
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent être communiqués qu'aux personnes habilitées à cet effet par Snecma.

NOISE REDUCTION

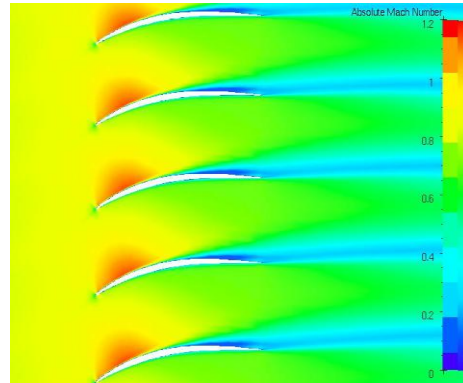
Fan Noise Reduction through scarfed Inlet



Treated Plug with CMC technology



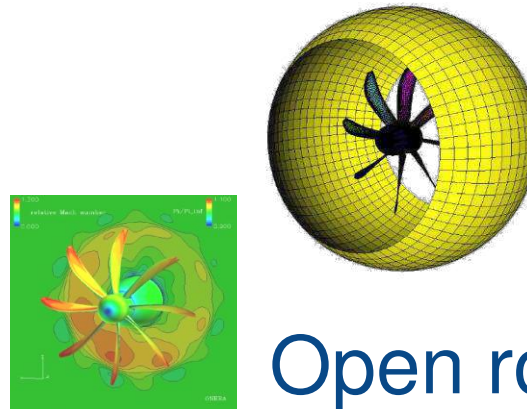
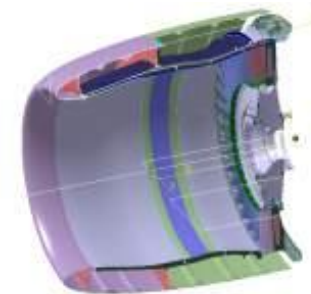
Fan Noise Reduction through 3D OGV Aeroacoustic Design



Jet Noise Reduction through Chevron Nozzle Design



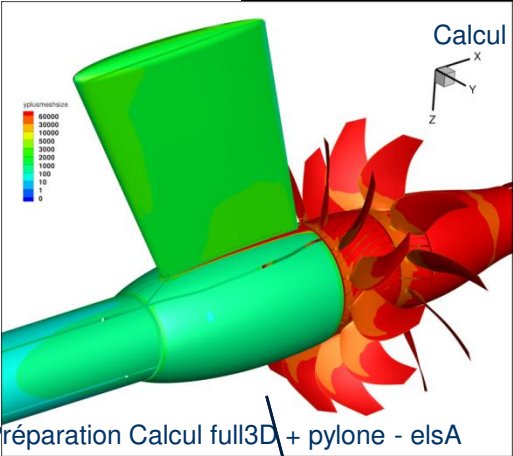
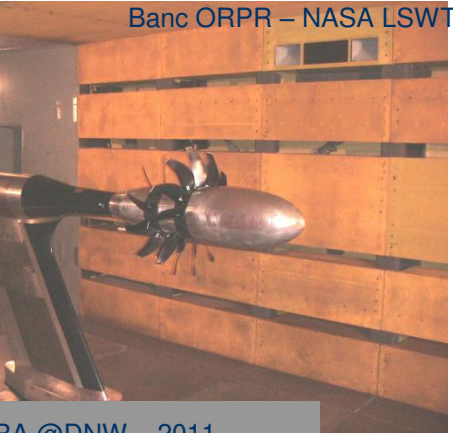
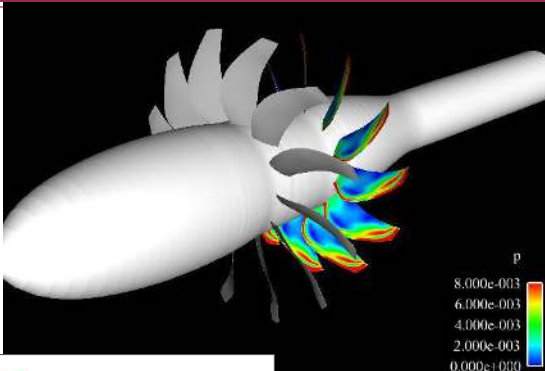
Acoustic Treatment



Open rotor

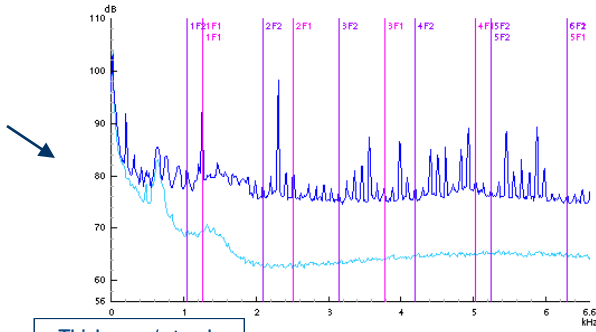
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Open Rotor blade aero acoustics



Calcul chorochronique elsA

Banc TsAGI T104 - Moscou



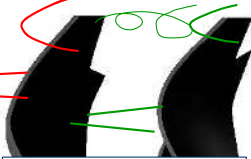
Thickness / steady loading noise
Forward Fan Tones

Vortex / blade interaction
Interaction Tones (+ BBN)

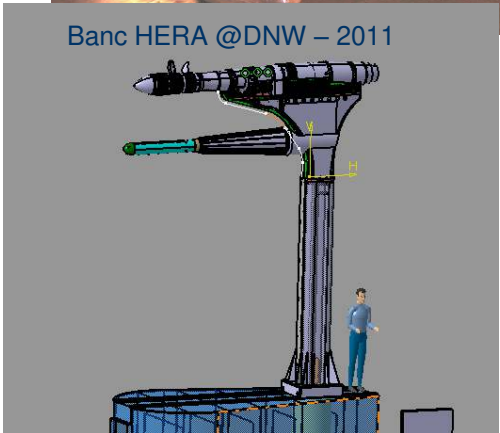
Incidence
Forward Fan Tones

Pylon / Blade interaction
Forward Fan Tones

Thickness / steady loading noise
Aft Fan Tones



Wake / blade interaction
Interaction Tones (+ BBN)



copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

OUTLINE

■ **Context – Drivers**

■ **Goals & Route**

■ **Some technology packages**

■ **Conclusion**

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Conclusion : Future Enhancements.. On the Way

- **Snecma has a large technology development effort underway to meet future Air Transportation needs**
 - **Success will require to answer to environmental and economical challenges**

- **Performance Improvement will be both continuous & step change**
 - **Identify future architectures**
 - **Prepared associated technology bricks**
 - **Maintain heavy investments**

- **Step changes on due time will require :**
 - **Strong vision, leadership in all stakeholders**
 - **Science: New modeling capabilities to optimize in unmapped design space**
 - **Team work with Universities / Research Labs**

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

Innovative installation

Option A



Option B

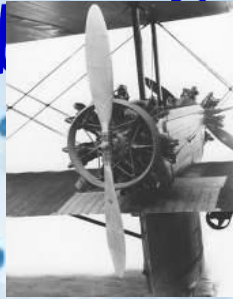


My Secret Dreams.....

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

As for the future, our task is not to foresee it, but to enable it.

?



Thanks for your Attention