

SGT5-8000 H : la nouvelle turbine à gaz de Siemens

Tests d'exploitation jusqu'ici réussis

Le 20 décembre 2007, le premier allumage de la turbine à gaz la plus puissante au monde a eu lieu dans la tranche 4 de la centrale d'E.ON à Irsching, près d'Ingolstadt en Bavière. La turbine de type SGT5-8000H développée par la société Siemens AG a une puissance de 340 MW, de quoi alimenter une ville d'un million d'habitant telle Hambourg. Le groupe turboalternateur, de la taille d'une habitation individuelle, est actuellement soumis à une batterie de tests. La turbine sera disponible pour l'exploitation commerciale à partir d'août 2008. La phase d'essai à Irsching durera encore jusqu'en juin 2009, après quoi le groupe sera remis à la centrale E.ON.

Les changements climatiques et le réchauffement de la planète sont au cœur des débats publics. Fournir de l'énergie en quantité suffisante pour tous, à des prix abordables, qui respecte l'environnement et qui garantisse une sécurité d'approvisionnement, voilà un enjeu décisif pour l'avenir. La solution réside en grande partie dans le développement substantiel d'une efficacité énergétique qui réduise les émissions de dioxyde de carbone, qui ménage les ressources et qui réduises les coûts. Ainsi la toute dernière centrale à cycle combiné, actuellement en phase d'essai à Irsching, atteindra un rendement de 60 %. Le Dr Michael Weinhold, directeur de la technologie du Secteur Energie de Siemens AG déclare : « Comparé aux générations actuelles de centrales à cycles combinés (rendement de 58 %), la tranche 4 d'Irsching émettra 40 000 tonnes de CO² en moins par an ». Au cours de sa durée de vie prévue, la nouvelle unité sur le Danube rejettera 2,8 millions de tonnes de CO² de moins qu'une centrale à charbon classique. En exploitation simple la turbine à gaz produit 340 MW et en configuration à cycle combiné avec une turbine à vapeur supplémentaire, prêt de 530 MW.

E.ON, le client de la nouvelle tranche, a besoin d'une flexibilité énorme dans sa production d'électricité future : l'entreprise doit en effet compenser une puissance éolienne de 14 000 MW en Allemagne du Nord. Par conséquent les nouvelles tranches 4 et 5 sont conçues pour 4 000 à 5 000 heures d'exploitation, c'est-à-dire pour la charge intermédiaire. Le temps de démarrage de la tranche 4 en condition de démarrage à chaud est fixé à 40 - 45 minutes. En effet, ici chaque minute compte : chaque unité de temps économisée rapporte environ 180 000 € de revenus supplémentaires. La tranche 5, qui se situe dans le voisinage immédiat de la tranche 4, est déjà en construction et comprendra deux turbines à gaz et une turbine à vapeur qui seront également livrées par Siemens (turbine à gaz de type 5-4000F). Dans cette configuration à deux chaudières de récupération, l'énergie des gaz de combustion provenant des turbines à gaz est utilisée dans une turbine à vapeur commune (configuration 2 + 1). La double tranche doit assurer l'exploitation de routine dès 2009.

La nouvelle turbine classe H de Siemens est le fruit d'un programme de recherche et de développement de longue haleine, débuté en mars 2001 par la planification stratégique correspondante et qui a nécessité près de 500 millions € d'investissements. Dès le début, plusieurs objectifs avaient été fixés :

- Un rendement de la centrale à cycle combiné supérieur à 60 %
- Une capacité de démarrage rapide et une grande flexibilité d'exploitation
- Un coût de cycle de vie aussi faible que possible
- Un faible taux d'émissions
- La possibilité de fonctionner en charge réduite tout en conservant une efficacité maximale et des taux d'émission minimaux.

SGT5-8000H : la quintessence issue de deux lignes de développement

La nouvelle turbine est la première réalisation commune de Siemens et de l'ancien secteur fossile de l'américain Westinghouse, racheté en août 1998 par la multinationale allemande. Willibald Fischer, gestionnaire de programmes pour la SGT5-8000H, déclare : « Nous avons gardé le meilleur des deux lignes de productions de l'époque ». Le refroidissement à air complet de la grande turbine en constitue un aspect important.

En outre, le dimensionnement a été calculé pour des paramètres de vapeur élevés dans le processus de cycle combiné, c'est-à-dire des valeurs de pression et de température de respectivement 170 bar et 600°C dans la partie du processus de vapeur située en aval de la turbine à gaz.

La turbine a été spécialement conçue pour le fonctionnement en centrale à cycle combiné, c'est pourquoi la température des gaz d'échappement se monte à 625°C. Irsching 4 est composée d'une seule ligne d'arbre, c'est-à-dire que la turbine à gaz et la turbine à vapeur se trouvent sur le même arbre et agissent sur l'alternateur disposé entre elles.

Après avoir quitté l'usine berlinoise de Siemens en avril 2007, la gigantesque machine a été acheminée par transport routier et fluvial sur le chantier d'Irsching, où l'installation a commencé. Le premier allumage de la turbine au gaz naturel a eu lieu peu avant Noël 2007. Depuis lors, la SGT5-8000H se trouve dans une phase de tests intensifs qui se poursuivra encore jusqu'en juin 2009. Elle est équipée d'environ 3 000 capteurs, dont près de 600 placés sur les parties tournantes et quelques 2 400 sur les équipements fixes. Ils mesurent notamment les différentes températures et pressions mais aussi la dilatation, l'accélération, les jeux, les vibrations et le débit. Tous les capteurs tournants sont reliés par deux émetteurs aux deux extrémités de la turbine, qui transmettent les données recueillies par ondes radio. Le flux de données est traité d'une part par le Centre d'essai d'Irsching, aménagé dans une série de conteneurs jouxtant le hall du nouveau dispositif, et d'autre part par télétransmission aux centres de développement de Mülheim an der Ruhr (Rhénanie-du-Nord Westphalie) et d'Orlando (Floride). Au total, le projet emploie 20 ingénieurs pour les tests et 35 autres pour la conception.

Début mars 2008 : première synchronisation au réseau

Le véritable test en situation réelle a commencé, comme planifié, fin janvier 2008. Le compresseur a ainsi été alimenté à faible et à grande vitesse de rotation jusqu'à sa vitesse maximale (FSNL : pleine vitesse hors charge). L'ensemble des capteurs in situ et les systèmes pour l'enregistrement et le traitement des données ont été étalonnés. Les entrailles de l'appareil (chambre à combustion, compresseur, et turbine) sont examinées au moyen de caméras boroscopiques à intervalles fixes. Le système de combustion, composé de 16 brûleurs, dispose de 5 étages. Deux d'entre eux alimentent le brûleur de gaz pilote au démarrage, les trois autres servent lors du fonctionnement en charge. Ces 5 étages d'alimentation en gaz de la turbine ont été mis en service, tout comme le système hydraulique d'optimisation des jeux (HCO, Hydraulic Clearance Optimization System) qui a été activé pour la première fois, déplaçant le rotor de la turbine axialement par mouvement hydraulique afin de réduire le jeu dans les aubages lors du fonctionnement en charge. La synchronisation avec le réseau a ensuite eu lieu début mars. Les niveaux de charge ont ensuite été graduellement soulevés. Tout d'abord, des tests à pleine vitesse à vide ont été réalisés, puis jusqu'à la mi-avril la charge a été augmentée jusqu'à 70 %. A l'heure actuelle, la turbine a déjà effectué près de 20 démarrages en charge (on a procédé à des démarrages additionnels à vide) et a totalisé environ 50 heures d'exploitation. 400 heures au total sont planifiées avant le début de l'exploitation commerciale.

Jusqu'à présent, les étapes suivantes ont été atteintes lors de la mise en service et les phases de test de la turbine à gaz :

- Essais commencés comme planifiés,
- Comportement à l'allumage stable et fiable,
- Exploitation stable en condition de FSNL (pleine vitesse hors charge), c'est-à-dire avec une vitesse de rotation de 3 000 t/min qui correspond à une exploitation en réseau de 50 Hz,
- Exploitation stable jusqu'à 70 % de charge
- Une fiabilité au démarrage qui s'approche de 100 %.

M. Fischer explique avec satisfaction : « jusqu'à présent, les résultats correspondent à nos attentes. Le comportement de la turbine à l'allumage est excellent, les paramètres d'exploitation atteints se situent dans la plage simulée et prévue ».

Après la phase de tests réussie de la nouvelle turbine à gaz, la tranche 4 d'Irsching deviendra une centrale à cycle combiné et la SGT5-8000H entièrement équipée se transformera en une machine destinée à l'exploitation commerciale. De plus, la chaudière de récupération derrière la turbine à gaz sera mise en place et la turbine à vapeur, dont les massifs de fondation ont déjà été coulés, sera installée. La construction de la partie vapeur doit commencer mi 2009. La mise en service de la tranche de la centrale à cycle combiné d'Irsching 4 doit avoir lieu au printemps 2011.

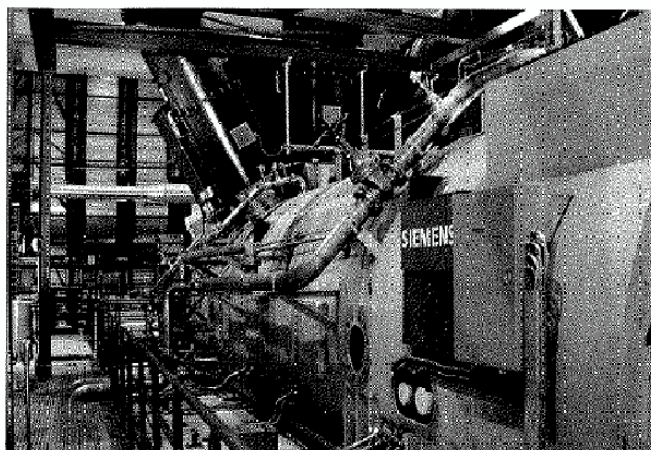
Légende 1

SGT5-8000 H, la nouvelle turbine à gaz de Siemens est testée dans la tranche 4 de la centrale d'Irsching.



Légende 2

La centrale test Irsching 4 est de conception à une seule ligne d'arbre. La turbine à gaz et la turbine à vapeur se trouvent sur le même arbre et agissent sur l'alternateur disposé entre elles.



SGT5-8000H – on its way to breaking the 60% barrier



H prototype at Erlangen on its way to Irsching

The prototype of the Siemens' H, the world's largest fully air cooled gas turbine – and arguably the largest gas turbine ever built, of any type – is now at E.On's Irsching site and in the process of being installed.

First firing of the 340 MW SGT5-8000H is scheduled for this winter, the culmination of a development effort that started about seven years ago.

Customer demand and market requirements were the essential drivers for the development of the new machine, says Siemens, which aims to fulfil the following requirements:

- combined cycle net efficiency of over 60%;
- fast start capability and high operational flexibility;
- lowest life cycle costs;
- high reliability and availability;
- low emissions; and
- good turn down capability while still maintaining high efficiency and low emissions.

Siemens Power Generation started its internal product development process in 2000 with strategic product planning activities. In 2005 the company announced it was developing the world's most powerful gas turbine. Two years later, and on schedule, the prototype of the SGT5-8000H was shipped to its destination, the Irsching 4 gas turbine power plant.

With the acquisition of the Alstom industrial turbine business the Siemens range goes down to 5 MWe, while the new H raises the upper limit from 287 MW (the SGT5-4000F) to the aforementioned 340 MW.

The H is the result of an intensive research & development programme aimed at developing a competitive, efficient and flexible fully-air-cooled engine.

It is the first new frame developed since the merger of Siemens and Westinghouse, and aims to combine the best features of both companies' existing product lines with advanced technology. Proven design features have been applied wherever possible and use has also been made of Six Sigma processes.

The new machine has been developed by a 250 strong team located in a number of locations, in particular Erlangen, Berlin and Mülheim in Germany and Orlando and Jupiter in Florida, USA.

An additional 500 Siemens employees were involved in the manufacturing and preparation of the prototype engine for testing and at present

about 800 people are working on the prototype design and erection at Irsching.

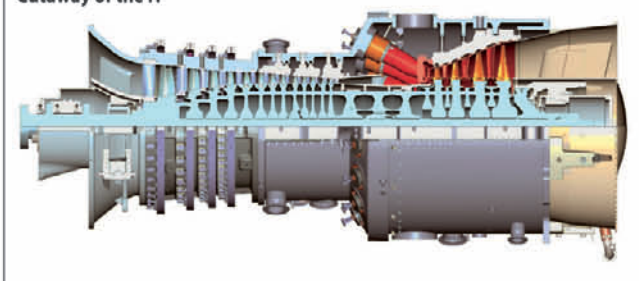
Basic data for the new turbine can be summarised as follows:

Fuel	Natural gas, fuel oil
Grid frequency	50 Hz
GT output	340 MW
GT efficiency	> 39%
GT heat rate	< 9231 kJ/kWh
Exhaust mass flow	820 kg/s
Exhaust temperature	625 °C
Weight	444 t
Length	13.2 m
Height	5.0 m

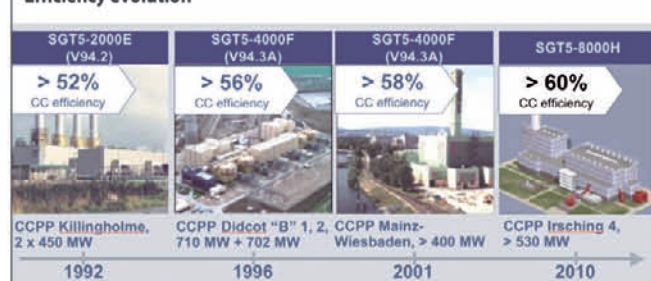
Efficiency leap

Back in 1992, Siemens' Killingholme combined cycle plant achieved an efficiency of 52%. Diddot, with one of the first V94.3A machines

Cutaway of the H



Efficiency evolution



(predecessor of the SGT5-4000F), achieved 56% in 1996 and the Mainz-Wiesbaden combined cycle plant, with the latest version of the SGT5-4000F, reached an efficiency world record of more than 58% in 2001. Irsching will break the 60% barrier.

The SGT5-8000H gas turbine will be the prime mover of the new Siemens combined cycle offering for the 50 Hz market, the SCC5-8000H, which will have an output of over 530 MW.

Key features of the new turbine are:

- axial 13 stage compressor with high mass flow, high component efficiency, CDA front stages and HPA rear stages, variable guide vanes, cantilevered stator vanes;
- high temperature can annular combustion system, air-cooled;
- four stage turbine with stage 1 single crystal blades and vanes, stage 1 to 3 TBC coated blades and vanes, air-cooled;
- advanced, variable secondary air system (SAS);
- single tie bolt rotor with compressor and turbine disks and hydraulic clearance optimisation (HCO); and
- direct scaling for further frames, eg for a 60 Hz machine.

Features contributing to higher efficiency include:

- advanced sealing system for low leakage of cooling air;
- advanced materials to increase the firing and exhaust gas temperatures;
- new compressor with advanced blade design;
- advanced, highly efficient, high pressure and high temperature combined cycle process employing the Benson boiler; and
- proven single shaft concept with SSS clutch operating with an advanced, high temperature steam turbine.

Features expected to contribute to low life cycle costs include:

- the high, ie over 60%, efficiency in combined cycle mode;
- low maintenance and operation costs due to less complexity in engine and parts; and
- simple operational concept;

Features that aim to increase operating flexibility include:

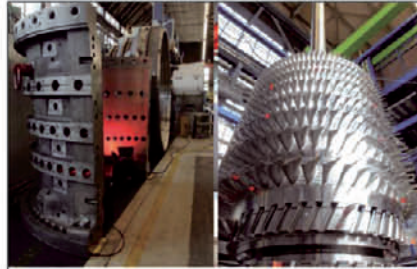
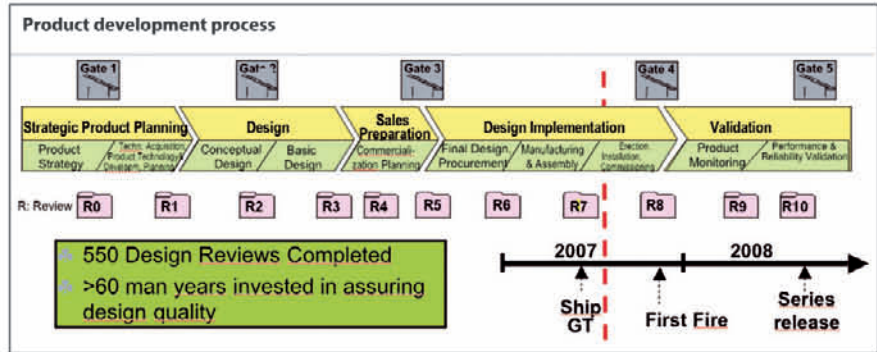
- 100 per cent air-cooling, which means that the cooling system is always operational, whatever the speed and load (even in open cycle operation); and
- flexibility in operation, reduced start-up times and high ramp rates due to reduced complexity in the engine and plant.

Siemens has not yet disclosed the firing temperature of the new turbine, but Phil Ratliff of Siemens said recently: "I'll describe it as a 1600 degree C machine, only slightly hotter than the 501G."

Minimising risks

The product development process consists of several review steps and five release gates taken up by senior management and in some cases even up to the board level. In total, about 550 design reviews have been performed on components, systems and the total cycle, and more than 60 man years in total invested in additional quality steps and activities such as QFD (quality function deployment) and Six Sigma.

To minimise risks during the introduction of the new machine, complete component prototype tests have been carried out, with all key gas turbine components pre-validated in subsystem tests, for example:



Manufacturing (May/June 2006)



Prototype at Siemens' Berlin facility, early 2007

- extensive material and component testing under real conditions in the field as well as in test rigs in the very early stages;
- compressor tests in 2005 at the Siemens test bed in Berlin to prove the new compressor profiles in various off design conditions; and
- combustion tests at several development sites to verify the operational behaviour and emissions (including high pressure combustion tests at Enel, Italy, and DLR, Germany, catalytic combustion tests at a rig in Pittsburgh, aerodynamic and heat transfer tests at Siemens Mülheim and University of Central Florida as well as at Florida Turbine Technologies, and atmospheric combustion ignition testing at SPC Inc, Casselberry Lab, Orlando, Florida).

The results of tests so far suggest that the actual performance of the gas turbine will meet or exceed expectations.

As part of the prototype testing at Irsching 4, more than 3000 measurement points will be used to help validate performance and integrity as well as optimise turbine operation.

Through the hosting arrangement with E.On, the prototype will be initially extensively tested in simple cycle mode under real grid conditions. This will be at the customer site but the gas turbine will be in Siemens ownership.

The aim is to ensure that subsequent commercial

product lines will be introduced to the market with an adequate testing history and commercial release will occur only after successful completion of the prototype testing, maximising reliability and reducing risks to customers.

After start-up, part-load and baseload validation operation of the plant, a comprehensive endurance testing phase will be conducted. With this extended testing phase, the overall validation programme will take about 18 months.

The initial phase of Irsching 4 will be constructed in a special single cycle configuration, designed to facilitate its subsequent conversion to combined cycle single shaft.

The single cycle prototype test plant will be equipped with the following components, in addition to the SGT5-8000H machine:

- Siemens SGen5-3000W water cooled generator;
- an exhaust stack;
- fuel gas supply system connected to the E.On Ruhrgas gas pipeline grid;
- auxiliary systems for gas turbine and generator;
- unit transformer connected to the E.On high voltage grid;
- electrical auxiliary power supply, I&C, and control room for gas turbine operation;
- control centre for testing; and
- turbine building with heavy load cranes.

On the road to Irsching





The new machine at Irsching

Irsching 4 progress

Manufacture of the prototype SGT5-8000H gas turbine was completed late in April 2007 at the Siemens gas turbine plant in Berlin.

Transport to the Irsching site, near Ingolstadt, Germany, took four weeks. The route from Westhafen Berlin was as follows: Havel river – Elbe–Havel canal – Mittellandkanal (Münster, Duisburg, Köln, Koblenz) – Main river (Frankfurt) – Rhein–Main–Donau canal (Bamberg, Erlangen, Nürnberg) – Danube to Kelheim. From there, for the last 37 km to the Irsching site, it was transported by road.

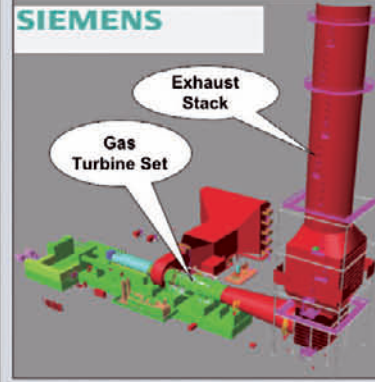
Following arrival at site, the gas turbine, the generator and the main transformer were then positioned on their foundations and installation work commenced.

The first firing of the engine is planned for December 2007, with completion of the test phase targeted for mid 2009.

Irsching 4 is envisaged as a two-phase project.

Irsching 4: a two phase project

Phase 1: Erection and testing GT



Phase 2: Extension to CCPP



With the successful completion of the gas turbine test phase, ownership of the plant will be transferred to the customer, E.On Kraftwerke. The plan is to then convert the simple cycle prototype test plant to a high efficiency combined cycle plant, with the heavily instrumented gas turbine rebuilt as a commercial engine.

Benefits

Siemens sees the high efficiency as the major benefit to the customer. Efficiency not only pays an important role with respect to environmental impacts, but also in terms of the profitability of the power plant. As fuel is the largest single cost item for running a power plant, an increase of two percentage points can save the operator

millions of euros over the entire life cycle of a combined cycle power plant with a capacity of 530 MW.

The gas turbine will initially target the 50 Hz markets of Asia and Europe. At the outset the engine is being developed for use with natural gas and fuel oil, but operation will be expanded to also include special fuel needed for applications such as IGCC.

A geometrically scaled 60Hz version (SGT6-8000H) will be released after the 50Hz engine verification.

Sources: papers by Phil Ratliff, Paul Garbett, Willibald Fischer and Lothar Balling of Siemens