



*Elektrotehnički fakultet Univerziteta
u Beogradu*

Katedra za energetske pretvarače i pogone

Seminarski rad

**TGV – Iskustva sa primenom vučnih motora
naizmenične struje**



Radisavljević Aleksandar 01/017

Kojić Bojan 02/114

SADRŽAJ

1. UVOD	3
2. ISTORIJA	3
3. PRUGE	4
4. KONSTRUKCIJA ŠINA.....	4
5. SAOBRAĆAJNA OGRANIČENJA.....	5
6. NAPAJANJE ENERGIJOM	5
7. KONSTRUKCIJA TGV-A	5
7.1 VUČNE KOMPONENTE.....	6
7.2 O KONSTRUISANJU TGV-A I NJEGOVIH DELOVA	9
8. TIPOVI TGV-A KOJI SU U UPOTREBI U ŽELEZNICI.....	10
8.1 TGV SUD-EST	11
8.2 TGV ATLANTIQUE	12
8.3 TGV RÉSEAU.....	12
8.4 EUROSTAR	13
8.5 TGV DUPLEX	14
8.5.1 Inovacije.....	15
8.5.2 Tehničke karakteristike TGV Dupleksa.....	16
8.6 THALYS PBKA	16
8.7 TGV POS	16
9. TGV TEHNOLOGIJA VAN FRANCUSKE.....	18
9.1 AVE (ALTA VELOCIDAD ESPAÑOLA)	18
9.2 KOREA TRAIN EXPRESS (KTX)	19
9.3 ACELA EXPRESS	19
9.4 BUDUĆI PROJEKTI	20
10. BUDUĆNOST TGV-A	20
11. LITERATURA.....	21

1. Uvod

TGV (akronim od “train à grand vitesse”, francuskog izraza za voz velike brzine) je francuska brza železnička služba, razvijena od strane GEC-Alsthorn i SNCF, francuske nacionalne železničke službe. Prateći uvodni TGV saobraćaj između Pariza i Liona 1981, mreža TGV-a se proširila zbog spajanja drugih gradova širom Francuske i susednih zemalja. Ima rekord za najbrži voz sa točkovima sa brzinom od 574.8 km/h postignut 3 Aprila 2007, i ima najveću svetsku prosečnu brzinu za komercijalni putnički servis.

TGV je povezan sa Švajcarskom kroz Francusku mrežu, sa Belgijom, Nemačkom i Holandijom kroz Thalys mrežu, dok Eurostar mreža povezuje Francusku i Belgiju sa Velikom Britanijom.

2. Istorija

Ideja TGV-a je predložena šezdesetih godina prošlog veka posle Japana koji je počeo izgradnju Shinkansen 1959. Prvobitno je planirano da TGV vuče gasna turbina, zbog svoje male veličine, velike snage prema težini i sposobnosti da razviju veliku snagu za malo vreme. Prvi prototip TGV 001 je jedini TGV konstruisan sa ovim motorom pošto su se zbog cene nafte i energetske krize gasne turbine pokazale nepraktične i projekat se okrenuo ka električnom napajanju sa kontaktnih vodova. Prvi električni prototip je napravljen 1974, testirane su osobine pantografa, suspenzija i kočenje. Montiranje motora omogućavalo je da se težina vučnih kola smanji za preko 3 tone. Prototip je prešao skoro milion kilometara za vreme testiranja.

Francuska vlada je 1976 pocela konstrukciju LGV Sud-Est, prve pruge za velike brzine. Pruži je dat naziv LN1.

Posle dva prototipa koja su bila testirana i znatno modifikovana, prva verzija za proizvodnju je isporučena 1980. TGV servis je otvoren za javnost između Pariza i Liona 27 Septembra 1981. Od tada dalje pruge LGV su otvarane u Francuskoj, uključujući LGV Atlantique (LN2) od Tours do Le Mans (izgradnja počela 1985, ušao u funkciju 1989); LGV Severna Evropa (LN3) do Calais i Belgijske granice (izgradnja počela 1989, u funkciji 1993); LGV Rhône-Alpes (LN4), proširujući LGV do Valensije (izgradnja počela 1990, u funkciji 1992); i LGV Mediteran (LN5) do Marseja (izgradnja počela 1996, u funkciji 2001). LGV Est od Pariza do Strazbura je puštena u rad 2007 i otvorena za javnost na leto 2007. U prvom mesecu rada više od milion putnika je putovalo na liniji.

Eurostar servis je pušten u rad 1994, povezujući kontinentalnu Evropu sa Londonom preko Channel tunela sa verzijom TGV-a konstruisanom za tunel i u Velikoj Britaniji. Vozovima treba 2 sata i 15 min od Londona do Pariza a 1 sat i 51 minut od Londona do Brisela.

TGV trenutno drži svetski brzinski rekord za konvencionalne vozove sa točkovima. 3 aprila 2007 sa modifikovanim TGV POS vozom je postignuto 574.8 km/h pod testiranim okolnostima na liniji LGV Est. Napon na test liniji između Pariza i Strazbura je podignut na 31,000 volti. Urađivši ovo pobeđen je svetski brzinski rekord iz 1990 od 515.3 km/h postavljen sa sličnim skraćanim vozom.

Eurostar voz je napravio rekord za najduže non stop putovanje velikom brzinom na svetu 17 Maja 2006 prevozeći snimatelje i glumce filma "Da Vinčijev kod" od Londona do Kana. 1421 km dugo putovanje je trajalo 7 sati i 25 minuta (191.6 km/h).

28 Novembra 2003 TGV je prevezao milijarditog putnika.

3. Pruge

Najnovije pruge za velike brzine dozvoljavaju brzine do 320 km/h u normalnom radu. Originalno LGV (lignes à grande vitesse – linije za velike brzine) su zamišljene kao pruge sa dozvoljenom brzinom većom od 200 km/h. TGV takođe ide i po konvencionalnim šinama, maksimalnom bezbednosnom brzinom za te šine do 220 km/h. To je prednost TGV-a nad, naprimer maglev vozovima (vozova sa linearnim motorima), TGV može da se koristi za mnogo više destinacija i može da koristi stanice u centru grada.

4. Konstrukcija šina

Konstrukcija LGV je slična kao i kod normalnih šina sa nekoliko ključnih razlika. Radijus krivina je veći da bi vozovi prešli preko njih većom brzinom bez povećavanja centrifugalne sile na putnike. Radijus LGV-a je bio veći od 4 km, dok nove šine imaju poluprečnik krivine veći od 7 km zbog budućeg povećanja brzine.

Šine korišćene za brze vozove konstruišu se za veće uspone nego obične. Značajna količina kretanja TGV-a pri velikim brzinama omogućava im da savladaju veće uspone bez veće potrošnje energije. Pruga Paris-Sud-Est LGV ima uspon *i* do 3.5%. Preciznost šina je veća nego na običnim šinama. Prečnik tunela je veći nego normalno zbog veličine voza posebno na ulazu.

5. Saobraćajna ograničenja

LGV su rezervisane primarno za TGV. Jedan razlog za ovo ograničenje je da je kapacitet jasno smanjen kada su vozovi različitih brzina pomešani. Strmi usponi uobičajeni na LGV-u bi ograničili brzinu sporih teretnih vozova. Sporiji vozovi bi takođe podrazumevali da maksimalan nagib na krivini takođe bude ograničen, pa za istu maksimalnu brzinu LGV za mešovitu brzinu bi trebao da se konstruiše sa krivinama sa još većim radijusom.

Održavanja na LGV-u se rade uglavnom noću kada ne ide TGV.

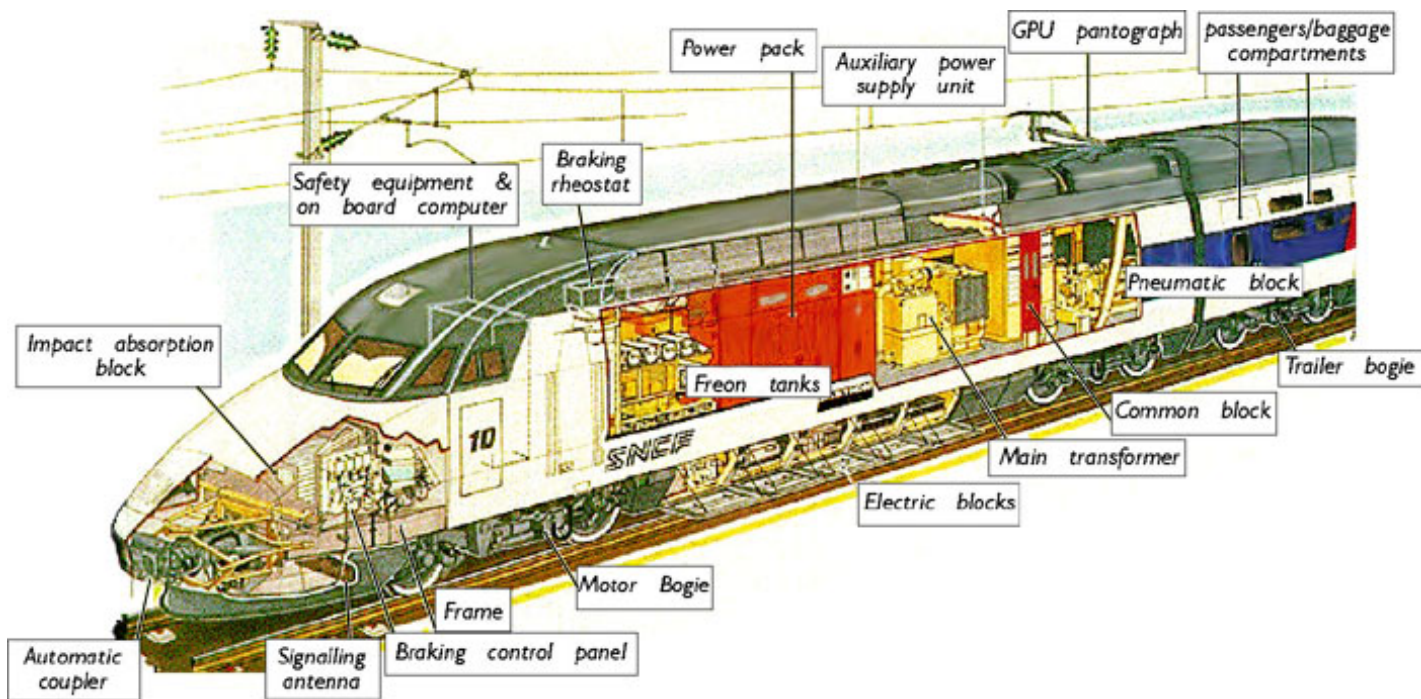
6. Napajanje energijom

LGV se napaja sa 25kV 50 Hz. Lančanica je u većoj mahaničkoj tenziji nego normalna jer pantograf izaziva oscilacije u žici, i talas kroz žicu mora da putuje brže nego voz da bi se izbeglo nastajanje stojećih talasa koji bi izazvali pucanje žice. Ovo je bio problem kada se obarao brzinski rekord 1990; snaga tenzije žice se morala povećati da bi se prilagodila sa brzinom voza od preko 500 km/h. Na LGV-u samo je prednji pantograf podignut, izbegava se pojačanje oscilacija nastalih od prednjeg pantografa. Prednja kola se napajaju preko kablova uzduž krova voza. Eurostar vozovi su dovoljno dugački da priguše oscilacije dovoljno između prednjih i zadnjih vučnih kola, pa se podižu oba pantografa, te nema povezujućeg visokonaponskog kabla duž 400m dugačkog voza.

7. Konstrukcija TGV-a

Između pantografa i motora se nalazi čitav set energetske elektronike sa zadatkom prosleđivanja stalnog napona za razvijanje promenjive vučne sile. Ova elektronika ispunjava najviše prostora u TGV kolima.

Pratićemo strujno kolo od pantografa do točkova u specifičnom slučaju TGV Atlantique 24000. TGV 24000 ne sadrži egzotične komponente, i u principu deli mnoge osobine sa većinom modernih električnih lokomotiva. Slika 1. prikazuje poprečni presek TGV-a 24000 sa detaljnim opisima. Imamo 2 lokomotive po vozu, svaka od njih razvija 4400 kW i teži samo 68 tona.



Slika 1. Poprečni presek TGV-a

7.1 Vučne komponente

- GPU Pantograf: je specijalno dizajniran pantograf, sa gornjim delom koji radi kao hidraulični amortizer sa kratkim zamahom radi održavanja bliskog kontakta sa gornjim provodnikom i održavanja odskakivanja na minimumu. Skraćenica GPU predstavlja akronim od "Grand Plongeur Unique" (veliki, poseban klip). Sila na kontakti vod je oko 70N.
- Glavni transformator: uzima 25 kV 50 Hz jednofazni napon i snižava ga na 1500 V 50 Hz. Transformator je jedan od najtežih komponenti u jedinici, težak je oko 8 tona. Postavljen je u donjem delu voza u kadi ulja koje cirkuliše pumpama i hladi se ventilatorima.

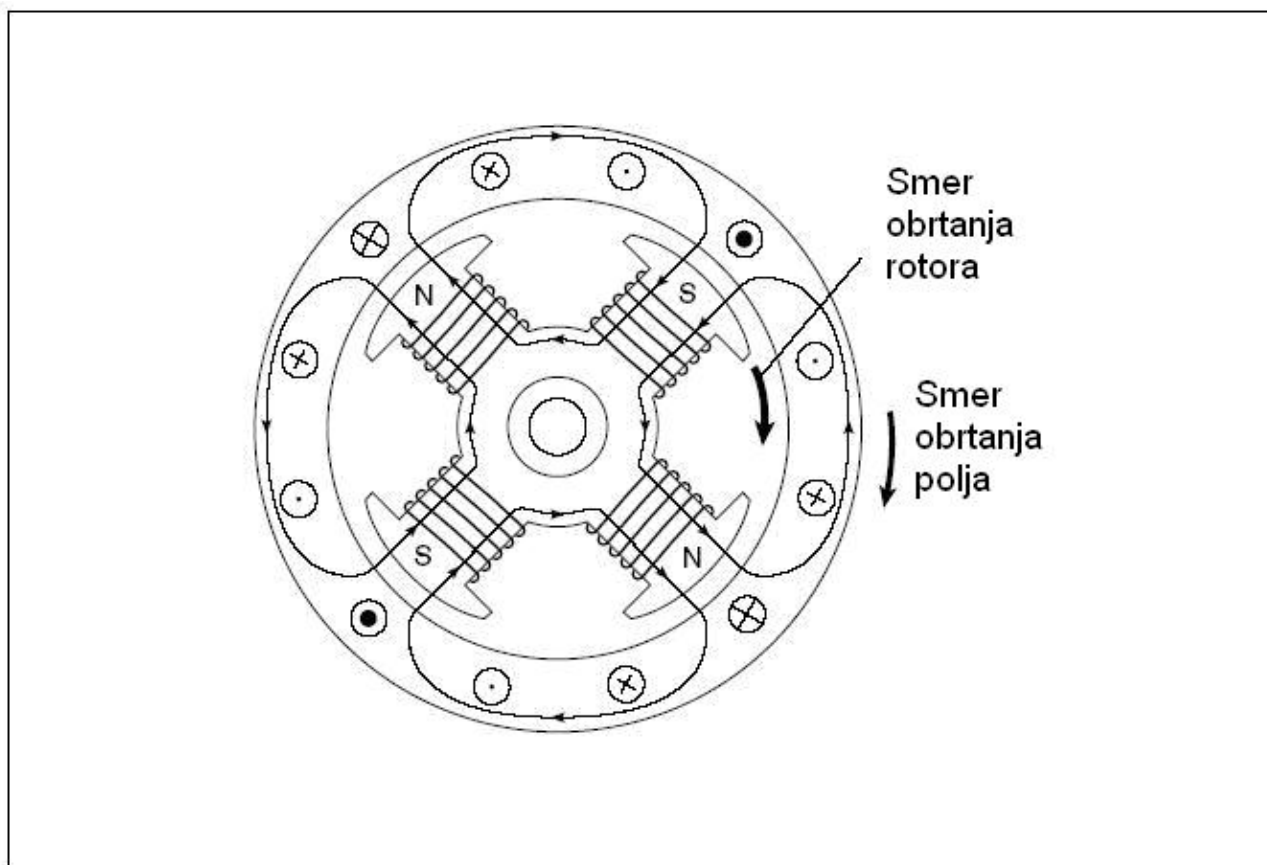
Kada su TGV vozovi ušli u upotrebu 1981, korišćeni su transformatori od 6.4 kVA za napon od 25 kV 50 Hz. Transformatori su bili izolirani celuloznom papirom i hlađeni mineralnim uljem.

1984 produžetak TGV linije do Švajcarske je otvoren. Motorna kola morala su da rade pod švajcarskom mrežom od 15 kV 16 $\frac{2}{3}$ Hz. Na ovoj frekvenciji jezgro transformatora napravljeno za 50 Hz bi ušlo u zasićenje i izazivalo kvar na transformatoru. Da bi rešili problem transformatorima je trebalo veće jezgro.

Rezultujuća veća gustina struje u bakarnim provodnicima povećala je temperaturu, za preko 56 K više nego što celuloidni papir može da podnese. Za solidnu izolaciju inženjeri su pribegli NOMEX termalnoj tehnologiji (koju inače koristi i NASA za izolaciju spoljnog sloja skafandera). Za hlađenje je korišćeno silikonsko ulje u zatvorenoj sredini.

- Tiristorski kontrolisan ispravljač: ispravlja izlaz glavnog transformatora da bi napravio 1500 V DC. Tiristori omogućavaju doterivanje više od običnog diodnog mosta, oni ne samo da ispravljaju struju nego mogu da se ponašaju kao prekidač, uključuju i isključuju izlaznu snagu. Zato kažemo da je kontrolisan ispravljač. Ima 2 tiristor-dioda mosta; jedan za svaki par vučnih motora.
- Uobičajen blok: sadrži prekidač DC kola (ustvari 2 koja rade u tandemu) i glavni filter kondenzator.
- Vučni invertori: konvertuju njihov DC ulaz u kompjutersko-kontrolisani trofazni, frekvencijski promenljiv naizmjenični napon, radi kontrolisanja vučnih motora. Postoji jedan inverter po vučnom motoru. Invertori su tiristorski. Za svako postolje, dva inverter/motor para su povezana serijski. Energetska elektronika fizički povezana sa jednim postoljem obrazuje "motorni blok". Tako su na taj način dva takva motorna bloka instalirana na svakom od vučnih kola. Ako jedan od njih doživi kvar automatski izoluje sebe. Vozač može onda da ga uključi ponovo, resetujući prekidač. Ali samo jedanput; ako se kvar ponovi motorni blok se opet isključuje i ovaj put ostaje isključen. Ovo u praksi nije problem, pošto ima dovoljno rezervne vučne sile da bi voz nastavio put, na tri bloka umesto na četiri ukupno.
- Sinhroni AC vučni motori: motor je pobuđen na frekvenciji proporcionalnoj njegovoj obrtnoj brzini. Nema kolektora kao jednosmerni motori, što smanjuje habanje i troškove održavanja.

Jednosmerni vučni motori su korišćeni dugo vremena po razvijanje električnih vozova. Međutim od 1980-tih zamenili su ih neizmjenični motori posebno sinhroni motori koji se koriste u TGV-u. Na slici 2. je prikazana struktura sinhronog motora.



Slika 2. Struktura sinhronog motora

Kao i asinhroni motori, i sinhroni takođe imaju trofazne namotaje za naizmjeničnu struju na statoru, ali rotor se napaja jednosmernom strujom iz spoljnog izvora. Trofazna struja na statoru proizvodi rotirajuće polje, dok rotor postaje električni magnet. Privlačenja i odbijanja između polja i rotorskog magneta pokreću rotor. Za napajanje rotora se koriste četkice koje zahtevaju održavanje, mada nije toliko često i ne košta toliko kao u motoru jednosmerne struje. Zašto se sinhroni motori koriste u TGV-u? Odgovor je u nivou razvoja tehnologije kada je TGV konstruisan. Glavni problem je bio dovođenje napona za gašenje tiristora. Međutim rotor u sinhronom motoru je magnet pa proizvodi potreban napon na priključcima statorskog namotaja. U stvari napon se generiše tačno na vreme da isključi tiristor, eliminišući potrebu za pomoćnim kolom za isključivanje tiristora što dovodi do smanjenja težine i cene invertora. U francuskim TGV-ima težina na osovina je bila ograničena na 17 tona i sinhroni motori su bili jedini odgovarajući izbor. U sinhronom motoru nema kolektora, što smanjuje habanje i cenu održavanja.

7.2 O konstruisanju TGV-a i njegovih delova



Slika 3. Spuštanje rotora u stator



Slika 4. Motanje namotaja statora

Električni motori za TGV se proizvode u fabrici Ornans (Francuska). Na slici 3. se kontroliše spuštanje rotora od 730 kg u stator. Ukupna masa motora je 1515 kg. Zaposleni u SNCF ga zovu obično “Marignan”. Razvija 1100 kW snage i maksimalnu brzinu obrtanja od 4000 ob/min. TGV sada stavlja 8 motora po vozu. Na slici 4. se bakarne šipke savijaju na dimenzije statora. Izoluju se izolacionom trakom koja obrazuje omotač izolacije. Stavljaju se 63 namotaja u žlebove statora.

TGV-i se sastoje od polutrajnih sprega (spojeva) više uzglobljenih jedinica, sa Jakobsovim obrtnim postoljima postavljenim između vagona tako da postolje nosi težinu oba vagona između kojih je postavljeno. Lokomotive, kojih ima na oba kraja voza, imaju svoja obrtna postolja. Vozovi (kompozicije) mogu biti produženi spajanjem dva TGV-a zajedno pomoću kvačila skrivenih u

nosevima lokomotiva. Prednost ovakvog dizajna je da će u slučaju iskakanja voza sa šina biti veće šanse da putnički vagoni ostanu uspravni i u pravcu trase (dok je kod običnih vozova veći rizik od prevrtanja i odvajanja vagona usled odvajanja kvačila). Međutim, mana ovog dizajna je da je uopšte teško razdvojiti pojedine vagone: dok se TGV lokomotive mogu odvojiti od kompozicije standardnim procedurama raspredanja, razdvajanje vagona se obavlja u depou specijalizovanom opremom pomoću koje se podiže cela kompozicija odjednom. Kada se obavi raspredanje, jedan od vagona ostaje bez postolja na mestu razdvajanja tako da je potreban ram postolja koji bi nosio njegovu težinu.

8. Tipovi TGV-a koji su u upotrebi u železnici

SNCF upravlja voznim parkom od oko 400 TGV-a. Sedam tipova TGV-a (odnosno TGV modifikacija) trenutno saobraća francuskom železničkom mrežom. To su:

- TGV Sud-Est (putnički) i La Poste (teretni voz)
- TGV Atlantique (najčešće ima 10 vagona, ponekad 8)
- TGV Réseau (sličan Atlantique-u ali samo sa 8 vagona)
- Eurostar (dve garniture: Three Capitals i North of London)
- TGV Duplex (na dva nivoa radi povećanja broja putnika)
- TGV POS (Paris-Ostfrankreich-Süddeutschland ili Pariz-Istočna Francuska-Južna Nemačka)
- Thalys PBA i PBKA (koriste se u zemljama Beneluksa; izvedeni iz Réseau-a i Duplex-a respektivno)

Svi TGV-ovi su višesistemski (najmanje dvo-sistemski) što znači da mogu da rade na 25 kV, 50 Hz AC na novijim linijama (uključujući LGV-ove) kao i na 1.5 kV DC na starijim linijama (kao što su 1.5 kV lignes classiques koje su uobičajene u okolini Pariza). Vozovi koji prelaze granice sa Nemačkom, Švajcarskom, Belgijom i Velikom Britanijom moraju se prilagoditi na različite naponske nivoe, što iziskuje tro-sistemske i četvoro-sistemske TGV-ove. TGV-ovi imaju dva para pantografa, jedan par za upotrebu na AC mrežama i jedan par za upotrebu na DC mrežama. Pri prelasku između oblasti sa različitim izvorima napajanja vozač prekida snabdevanje energijom vučnim motorima, spušta pantograf(e) i podešava prekidač na izbor odgovarajućeg sistema nakon čega podiže pantograf(e). Pantografi i kontrola visine pantografa se odabiraju automatski na osnovu naponskog sistema koji je odabrao vozač. Kada voz detektuje ispravno

napajanje, odgovarajući indikator na instrument tabli zasvetli, što je znak vozaču da može da uključi vučne motore. Tokom izvođenja opisane operacije, u toku koje se prelazi granica između različitih sistema, voz se kreće po inerciji.

Equipment type	Top speed	Seating capacity	Overall length	Width	Weight	Power (under 25 kV)	Power-to-weight
TGV Sud-Est	270 km/h (168 mph) as built 300 km/h (186 mph) rebuilt	345	200.2 m (657 ft)	2.81 m (9.2 ft)	385 t	6,450 kW	16.7 W/kg
*TGV Atlantique	300 km/h (186 mph)	485	237.5 m (780 ft)	2.90 m (9.5 ft)	444 t	8,800 kW	19.8 W/kg
TGV Réseau	300 km/h (186 mph)	377	200 m (656 ft)	2.90 m (9.5 ft)	383 t	8,800 kW	23.0 W/kg
Eurostar Three Capitals	300 km/h (186 mph)	794	393.7 m (1,293 ft)	2.81 m (9.2 ft)	752 t	12,240 kW	16.3 W/kg
Eurostar North of London	300 km/h (186 mph)	596	318.9 m (1,033 ft)	2.81 m (9.2 ft)	665 t	12,240 kW	18.4 W/kg
TGV Duplex	320 km/h (199 mph)	512	200 m (656 ft)	2.90 m (9.5 ft)	386 t	8,800 kW	22.8 W/kg
Thalys PBKA	300 km/h (186 mph)	377	200 m (656 ft)	2.90 m (9.5 ft)	385 t	8,800 kW	22.9 W/kg
TGV POS	320 km/h (199 mph)	377	200 m (656 ft)	2.90 m (9.5 ft)	423 t	9,600 kW	22.7 W/kg

Slika 5. Pregled tipova TGV sa osnovnim karakteristikama

8.1 TGV Sud-Est

Vozni park Sud-Est (Jug-Istok) je sastavljen između 1978 i 1988 i bio je u upotrebi na prvom TGV saobraćanju, od Pariza do Liona, 1981.godine. U upotrebi su 107 putničkih kompozicija, od kojih su devet tro-sistemske (francuski sistemi 25 kV 50-60 Hz AC - LGV linije, 1500 V DC - lignes classiques tj. klasične linije kao i 15 kV, 16 $\frac{2}{3}$ Hz AC za upotrebu u Švajcarskoj, dok su ostale dvo-sistemske (25 kV 50-60 Hz AC, 1500 V DC). Postoje takođe i sedam dvo-sistemskih poštanskih kompozicija, bez sedišta za putnike i sa manjim brojem vagona, koje raznose poštu između Pariza, Liona i Provanse. Ove kompozicije su prepoznatljive žute boje (boja francuske pošte - La Poste).

Kompozicije Sud-Est-a se sastoje od dveju lokomotiva i osam putničkih vagona (kapaciteta 345 sedišta); one su 200 m duge i 2.81 m široke, težine 385 tona sa izlaznom snagom od 6,450 kW na 25 kV. Izvorno su kompozicije bile izgrađene za brzine do 270 km/h (168 mph) ali je većina poboljšana tako da mogu da razviju brzinu od 300 km/h (186 mph) tokom njihovog doterivanja u sklopu priprema za otvaranje LGV Méditerranée. Mali broj kompozicija čija je maksimalna brzina još uvek 270 km/h saobraća na rutama koje imaju kratke distance u poređenju sa lignes à grande vitesse, kao što su rute prema Švajcarskoj preko Dižona. SNCF smatra da nije finansijski isplativo unaprediti njihove brzine zarad zanemarljivo malog smanjenja vremena putovanja.

8.2 TGV Atlantique

Vozni park je sastavljen između 1988. i 1992. godine. 105 dvo-sistemskih kompozicija je sklopljeno za otvaranje LGV Atlantique i pušteno u saobraćaj 1989. Kompozicije su 237.5 m duge i 2.9 m široke, težine 444 tone i sastoje se iz dve lokomotive i deset vagona kapaciteta 485 sedišta. Proizvedene su za maksimalnu brzinu od 300 km/h (186 mph) i 8,800 kW snage na 25 kV.

Modifikovana jedinica 325 je uspela da na novoj LGV pre njenog otvaranja ostvari brzine preko 500 km/h (310 mph) i tako svojevremeno postavi svetski rekord u brzini 1990. zahvaljujući unapređenoj aerodinamici, većim točkovima i poboljšanom kočenju. Kompozicija kojom je to postignuto je bila redukovana na dve lokomotive i tri vagona (što je ujedno i njihov minimalan mogući broj u kompoziciji usled opisanog načina uzglobljavanja) da bi se poboljšao odnos snaga/težina (u ovom slučaju je kompozicija težila 250 tona).

8.3 TGV Réseau

TGV Réseau (TGV-R) vozove je proizveo Alstom (francuska multinacionalna kompanija koja se bavi proizvodnjom vozova, opreme za signalizaciju i sl.) između 1992. i 1996. godine na osnovu starijeg tipa TGV Atlantique. Prva Réseau kompozicija ulazi u saobraćaj 1993. Pedeset dvo-sistemskih kompozicija je sastavljeno 1992-1994 po narudžbini iz 1990 i numerisani su brojevima 501-550. Kasnije je proizvedeno i 40 tro-sistemskih kompozicija tokom 1994-1996. i numerisani su brojevima 4501-4540. Poslednjih deset nose Thalys-ova obeležja i poznati su kao Thalys PBA (Pariz-Brisel-Amsterdam) kompozicije. Pored francuskih standardnih naponskih nivoa tro-sistemske kompozicije mogu da rade na holandskih 1.5 kV i italijanskih i belgijskih 3 kV DC izvora napajanja.

Réseau kompozicije se formiraju od dve lokomotive (8,800 kW na 25 kV – kao i TGV Atlantique) i osam putničkih vagona, sa kapacitetom od 377 sedišta. Najveća brzina koju razvijaju je 300 km/h. Kompozicije su 200 m duge i 2.90 m široke. Težina dvo-sistemskih setova je 383 tona dok tro-sistemske kompozicije, usled ograničenja osovinskog pritiska koje je na snazi u Belgiji, imaju niz modifikacija kao što su upotreba aluminijuma umesto čelika i korišćenje šupljih osovina da bi se težina smanjila na manje od 17 tona po osovini.

Usled ranijih zamerki na neprijatne promene pritiska pri ulasku u tunel velikom brzinom na trasi LGV Atlantique, Réseau kompozicije su sada hermetički zatvorene. Takođe, Réseau kompozicija se može sprežati sa Dupleks kompozicijom.

8.4 Eurostar

Eurostar (ili Class 373 kako ga označava britanska železnica) je u suštini TGV velike dužine, prepravljen za upotrebu u Velikoj Britaniji i kroz tunel ispod Lamanša. Glavna razlika je u tome što koristi asinhronu vučnu motore (koje su dizajnirali Britanci) za razliku od gore navedenih tipova koji su svi koristili sinhronu vučnu motore naizmjenične struje. Bitna razlika je i manji poprečni presek kako bi voz stao unutar britanskih suženih koloseka. Eurostar vozovi su proizvedeni od strane GEC-Alstom (sadanašnji Alstom) u La Rochelle (Francuska), Belfort (Francuska) i Washwood Heath (Engleska), ulazeći u saobraćaj 1993. godine. U toku razvoja je još nazivan i TransManche ili Super Train (Cross-channel Super Train).

Konstruisana su dva tipa: kompozicije Three Capitals, koje se sastoje iz dve lokomotive i 18 putničkih vagona, uključujući dva vagona koja imaju sopstveno obrtno postolje (ne dele ih sa susednim vagonima) i kompozicije North of London, koje se sastoje iz dve lokomotive i 14 putničkih vagona, takođe uključujući dva vagona koja imaju sopstveno obrtno postolje. Cela kompozicija se u oba slučaja sastoji iz dve identične polukompozicije koje nisu uzglobljene na sredini, tako da se u vanrednim situacijama kada je voz u tunelu ispod Lamanša, jedna polovina može otkaçiti i napustiti tunel. Svaka od polovina ima svoju zasebnu numeraciju.

38 kompletnih kompozicija, kao i jedna rezervna lokomotiva su urađene po narudžbini: 16 od strane SNCF, četiri od NMBS/SNCB (nacionalno železničko preduzeće Belgije) i 18 od British Rail (britanske železnice), od čega su sedam bile North of London setovi. Kompozicije saobraćaju na brzinama do maksimalno 300 km/h (186 mph) odnosno 160 km/h (100 mph) u Kanalu, sa lokomotivama snage 12,240 kW. Kako kočnice automatski reaguju kada brzina pređe 300 km/h odnosno 160 km/h kada je pantograf prilagođen na položaj tunela, ciljne brzine su zapravo 297 i 157 km/h respektivno. Ograničenje brzine u Kanalu je diktirano otporom vazduha, disipacijom toplote (energije) i potrebom usklađivanja sa drugim vozovima koji se kreću manjim brzinama.

The Three Capitals setovi su 394 m dugi i imaju 766 sedišta, težeći ukupno 752 tone. North of London setovi su 319 m dugi i imaju 558 sedišta, težeći ukupno 665 tone. Sve su bar tro-sistemske i sposobne da rade na 25 kV, 50 Hz AC mreži (na LGV-ima, uključujući High Speed 1, kao i na britanskim nadzemnim elektrifikovanim vodovima), 3 kV DC na lignes classiques u Belgiji i na 750 V DC mreži kada prolazi kroz britanski metro, gde je sistem napajanja vozila preko

treće šine. Sistem treće šine je postao suvišan nakon završetka druge etape High Speed 1 između Londona i tunela kroz Lamanš 2007. godine, pošto HS 1 koristi isključivo 25 kV, 50 Hz AC. Pet kompozicija Three Capitals u vlasništvu SNCF-a su četvero-sistemske i mogu da pored navedenih sistema rade i na francuskim lignes classiques na 1500 V DC.

Izvršni direktor Eurostara, Richard Brown, je predložio da bi nakon povlačenja Eurostar vozova iz optičaja u budućnosti, oni mogli biti zamenjeni dvospratnim vozovima nalik TGV Dupleksima. Vozni park na dva nivoa bi mogao da preveze 40 miliona putnika godišnje iz Engleske u kontinentalni deo Evrope, što je ekvivalentno izgradnji još jedne piste na londonskom aerodromu.

8.5 TGV Duplex

TGV Duplex je voz za velike brzine iz TGV familije. TGV Duplex je uveo treću generaciju TGV vozova specijalno dizajniranu za povećanje kapaciteta linija sa zasićenim saobraćajem. Sa sedištima u 2 nivoa i kapacitetom sedenja od 545 putnika Duplex je uvećao maksimalan broj putnika prevoženim jednim vozom.

Kada linije za brze vozove dostignu zasićenost imamo nekoliko opcija na raspolaganju za povećanje kapaciteta. Očigledna opcija je da se smanji vreme između vozova, tj. uklopiti više vozova na jednu liniju. Da bi se ovo postiglo povećava se kompleksnost signalizacionih sistema i neophodne su kočnice visokih performansi (zbog smanjivanja kočione razdaljine). Pošto su ove komponente već razvijene do neke granice težilo se ostalim rešenjima.

Linija LGV Sud-Est od Pariza do Liona je najprometnija linija u Francuskoj i od kad je u funkciji 1981 veoma brzo je dostigla svoj kapacitet. Smanjenje ovog problema je spajanje dva voza u jednu kompoziciju, ali ni ovo rešenje nije dovoljno povećalo kapacitet, dok je sa druge strane imalo nedostatak zbog veoma dugačkih staničnih perona. Ako ne može voz da se napravi duži ili širi, onda neka bude viši. Sada imamo TGV Duplex sa sedištima na dva nivoa (što se može videti na slici 6.) i 45% većim kapacitetom nego TGV sa jednim nivoom.

Proces razvijanja Duplex-a otpočeo je 1988. (tokom razvoja je bio poznat kao TGV-2N) i do danas je usavršavan kroz pet generacija. Trenutno se razvija tzv. Duplex „Dasz“.



Slika 6. Pogled na TGV Duplex iz profila

8.5.1 Inovacije

Možda najvažnija novina je efikasnost Duplex-ovog dizajna. Poređenje između originalnog TGV Sud-Est voza i Duplex-a:

	Odnos Snaga/Težina	Težina po sedištu	Snaga po sedištu
	kW/t	tona	kW
TGV Sud-Est	17	1.10	18.34
TGV Duplex	23	0.7	16.15

Striktne ograničenja osovinskog pritiska na 17 tona tražila su smanjivanje težine gde god je to moguće. Aluminijska konstrukcija je smanjila 20% težine strukture. Nos vučnih kola i razmak između vagona su izmenjeni tako da Duplex na brzini od 300 km/h ima samo 4% više otpora vazduha nego TGV sa jednim nivoom.

Pantograf korišćen na Duplexu ima pneumatski pokretni kontrolni sistem. Dva mala gasna cilindra na armaturi mogu da podešavaju krutost gornjeg dela pantografa, radi optimizacije kontakta pri bilo kojoj brzini.

8.5.2 Tehničke karakteristike TGV Dupleksa

Datum proizvodnje: 1995-1998 (1. serija), 2001-2004 (druga, treća i četvrta serija), 2004-2006 (peta serija), 2007-2009 (Duplex „Dasz“)

Max brzina: 320 km/h

Napajanje naponom: 25 kV 50 Hz AC, 1.25 kV DC

Vuča: 8 trofaznih sinhronih vučnih motora, 8800 kW

Dužina i težina: 200m / 380 tona

Konfiguracija: 1 motorna kola + 8 vagona + 1 motorna kola, 545 sedišta

8.6 Thalys PBKA

Thalys PBKA je voz potekao od TGV-a. Funkcioniše Thalys servisom između Pariza, Brisela i Amsterdama.

Thalys PBKA serija je pravljen isključivo za Thalys servis. Tehnološki je slična TGV Duplex-u, ali nema mogućnost prevoza na dva nivoa. Svi ovi vozovi su četvero-sistemske, sposobni za rad na 25 kV, 50 Hz AC (LGV), 15 kV 16 $\frac{2}{3}$ Hz AC (Nemačka, Švajcarska), 3 kV DC (Belgija) i 1.5 kV (Holandija i francuske obične linije). Njihova maksimalna brzina u upotrebi je 300 km/h na 25 kV, sa dvoje vučnih kola snage 8800 kW. Na mreži od 15 kV snaga pada na 4460 kW, dajući veoma nizak odnos snaga/težina. Imaju 8 vagona ukupne dužine 200m i ukupnu težinu od 385 tona sa kapacitetom 377 sedišta.

8.7 TGV POS

TGV POS je TGV voz trenutno na testiranju za upotrebu na liniji LGV Est. Svaki voz će biti formiran od 8 postojećih TGV vagona uparenih sa novim motornim kolima ukupne snage od 9.6 MW i maksimalnom brzinom od 320 km/h na mreži od 25 kV.

Za razliku od TGV Atlantik-a, TGV Réseau i TGV Duplex-a imaju asinhronne motore i u slučaju kvara, izolacija svakog motora na postolju je moguća. Koristeći IGBT nova motorna kola su sposobna da razviju 75% ukupne količine snage pod mrežom od 15 kV u Nemačkoj, za razliku od 45% sadašnjih TGV motornih kola.

Svaki TGV POS voz je težak 423 tone.



TGV Sud-Est
 Fleet: 110
 First service: 1981
 Output: 6420 kW
 Catenary design: 25 kV/50 Hz + 1500 Vdc + 15 kV/16.7 Hz
 Train protection systems: TVM 300/TVM 430 + KVB
 *Renovations in 1996 and 1999



TGV Atlantique
 Fleet: 105
 First service: 1989
 Output: 8800 kW
 Catenary design: 25 kV/50 Hz + 1500 Vdc
 Train protection systems: TVM 300/TVM 430 + KVB



TGV Réseau
 Fleet: 89
 First service: 1993
 Output: 8800 kW
 Catenary design: 25 kV/50 Hz + 1500 Vdc + 15 kV/16.7 Hz
 Train protection systems: TVM 430 + KVB + TBL + ATB + R54
 * Of which 10 PBA



TGV Duplex
 Fleet: 36
 First service: 1996
 Output: 8800 kW
 Catenary design: 25 kV/50 Hz + 1500 Vdc
 Train protection systems: TVM 430 + KVB



Eurostar
 Fleet: 31
 First service: 1994
 Output: 12,240 kW
 Catenary design: 750 Vdc + 25 kV/50 Hz + 3000 Vdc
 Train protection systems: AWS/TPWS + TVM 430 + KVB + TBL
 * 16 SNCF, 4 SNCB and 11 BR



Thalys
 Fleet: 17
 First service: 1996
 Output: 8800 kW
 Catenary design: 25 kV/50 Hz + 1500 Vdc + 15 kV/16.7 Hz + 3000 Vdc
 Train protection systems: TVM 430 + KVB + TBL + ATB + Indusi + LZB
 * 6 SNCF, 7 SNCB, 2 NS and 2 DB AG

(Photos: SNCF)

Slika 7. Retrospektiva tipova TGV-a

9. TGV tehnologija van Francuske

TGV tehnologija je usvojena i u drugim zemljama, nezavisno od francuske mreže:

- AVE (Alta Velocidad Española), u Španiji
- Korea Train Express (KTX), u Južnoj Koreji
- Acela Express, u SAD
- Budući projekti

9.1 AVE (Alta Velocidad Española)

AVE, akronim za Alta Velocidad Española, što u bukvalnom prevodu znači "Španske velike brzine" ali je takođe i igra reči od *ave* što znači ptica na španskom, je voz za velike brzine i može dostići i do 300 km/h (186 mph) na odgovarajućim šinama, dok je maksimalna eksperimentalno postignuta brzina u Španiji 403.7 km/h (251 mph), ostvarena jula 2006. godine Siemens Velaro kompozicijom oznake AVE S-103.

Za razliku od ostalih španskih mreža sa širokim kolosecima, AVE koristi standardne koloseke, što će mu u budućnosti omogućiti direktnu povezanost sa destinacijama van Španije. Svim AVE vozovima trenutno upravlja RENFE, španska državna železnička kompanija, mada postoji mogućnost da bude dozvoljeno i privatnicima da koriste linije. Tačnost AVE vozova je toliko izuzetna u odnosu na druge vozove koje RENFE koristi u saobraćaju za kratke i distance srednje dužine da u slučaju kašnjenja većeg od pet minuta, vrše povraćaj pune vrednosti plaćene karte a to se desilo u samo 0.16% obavljenih vožnji.

Predviđa se da će AVE postepeno zameniti sav vazdušni saobraćaj na relaciji Barselona-Madrid, baš kao što je to Eurostar učinio na rutama London-Pariz i London-Brisel odnosno francuski TGV-i na liniji Pariz-Lion. Već sada je odnos putnika 4:1 u korist AVE.

9.2 Korea Train Express (KTX)

Korea Train eXpress (KTX) je južno korejski sistem pruga za velike brzine kojim upravlja Korail (južnokorejski nacionalni železnički operator). Tehnologija vozova je velikim delom zasnovana na francuskom TGV sistemu, i to na tipu TGV-R. Preko 80% poslednje generacije KTX vozova (HSR-350x) proizvedeno je lokalno, u samoj Koreji i tek treba da budu pušteni u saobraćaj. Maksimalna brzina koju vozovi mogu da razviju je 350 km/h, ali je brzina u normalnom radu limitirana na 300 km/h iz bezbednosnih razloga. 16. Decembra 2004, HSR-350x je postigao eksperimentalnu maksimalnu brzinu od 352.4 km/h. Interesantan podatak je da je prethodna generacija KTXova (u opticaju od 2004.) imala 160 kvarova u vremenskom intervalu od tri godine; u proseku jedan kvar nedeljno. Kako je nabavka rezervnih delova za KTX od francuskih snabdevača umela da bude dugotrajan proces, često su se dešavale situacije da se do delova dolazi rastavljanjem ispravnih vozova.

9.3 Acela Express

Acela Express (često zvana kraće samo Acela) je naziv koji koristi Amtrak (nacionalna korporacija SAD za prevoz putnika železnicom) za brze naginjajuće vozove. Ime Acela je odabrano jer asocira na ubrzanje (acceleration na engleskom).

Nagiban voz (tilting train) je voz koji poseduje mehanizam kojim namešta ugao nagiba vozila što mu omogućuje povećanje brzine na standardnim prugama. Naginjanjem putničkih vagona u stranu umanjuju se neprijatnosti koje unutar vozila u krivini osećaju putnici i nepričvršćen prtljag usled delovanja centrifugalne i centripetalne sile: ako je krivina ulevo voz se naginje ulevo da bi kompenzovao delovanje centrifugalne sile udesno i obrnuto. Voz može biti konstruisan tako da same inercijalne sile uzrokuju naginjanje (pasivno nagiban voz) ili se naginjanje aktivno izaziva mehanizmom kojim upravlja računar (aktivno nagiban voz).

Što se tiče dizajna ovih vozova, glavna stvar koju su preuzeli od francuskih TGV-a, pored istovetne snage od 6,000 konjskih snaga (4,474 kW) svake od lokomotiva na krajevima kompozicije, koje rade na 11 000V 50Hz AC, jesu četiri asinhrona vučna motora naizmenične struje po svakoj od lokomotiva.

Najveća brzina koju je Acela Express postigao je 241 km/h (150 mph). Jedna kompozicija se sastoji od dve lokomotive, bistro vagona, vagona prve klase sa 44 sedišta i četiri vagona biznis klase sa 260 sedišta polutrajno spregnutih zajedno.

9.4 Budući projekti

Marokanska vlada je sklopila ugovor vredan dve milijarde dolara sa francuskom konstrukcionom firmom Alstom za izgradnju TGV linije između Tanžira i Kazablanke. Voz će biti u opticaju 2013. godine.

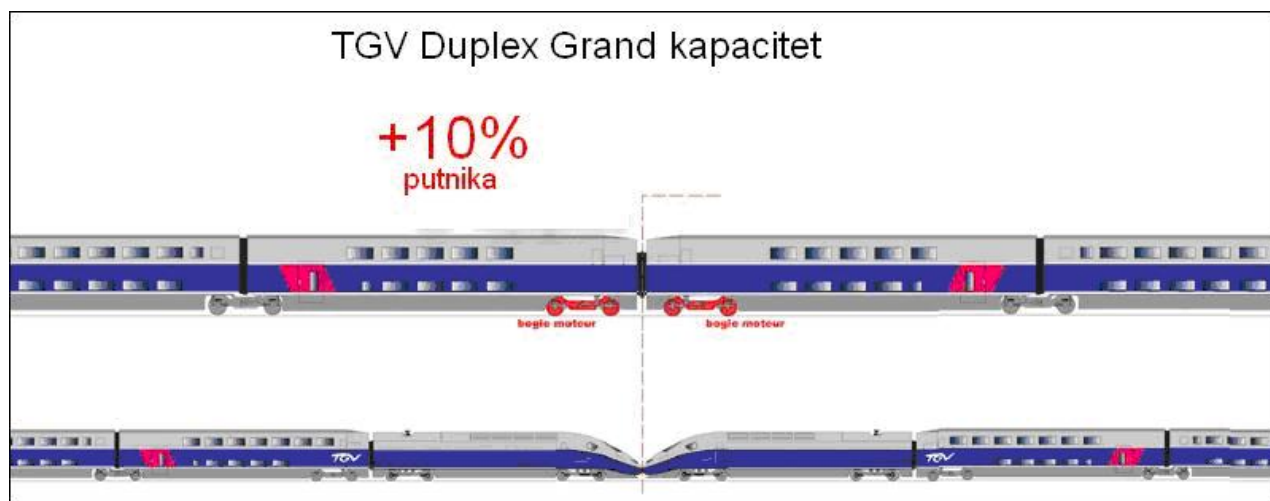
Buenos Aires-Rosario-Córdoba pruga za velike brzine u Argentini će imati francuski voz na dva sprata (TGV Duplex), koji će ići brzinom do 320km/h.

Postoje glasine da je italijanska firma poručila 25 AGV-a (četvrta generacija TGV, postiže brzine od 360km/h) za 2009. godinu.

10. Budućnost TGV-a

SNCF i Alstom investiraju u nove tehnologije koje se mogu koristiti za transport za velike brzine. Nova konfiguracijska šema TGV vozova će povećati kapacitet za 10% do 2010. Razvoj TGV vozova teži ka formi AGV (velike brzine više jedinica.). AGV dizajn ima motore ispod svakog vagona. Istraživanja se vrše u cilju proizvodnje vozova po istoj ceni kao i postojeći TGV-ovi sa istim bezbednosnim standardima. AGV-ovi sa istom dužinom kao i TGV mogu da imaju i do 450 sedišta. Ciljna brzina je 360 km/h.

Ukratko, planovi su da se poveća kapacitet TGV-a za 10% zamenjujući dve centralne lokomotive duplog TGV-a sa putničkim vagonima, kao što je prikazano na slici 8. Ovi vagoni bi imali pogonske osovine ispod njih baš kao i prvi i poslednji vagon voza, da bi nadoknadili snagu izgubljenu zamenom.



Slika 8. TGV Duplex velikog kapaciteta

11. Literatura

- Cinotti, Eric and Tréboul, Jean-Baptiste (2000) Les TGV européens : Eurostar, Thalys, Paris Presses universitaires de France
- Perren, Brian (2000) TGV handbook, 2nd ed., Harrow Weald : Capital Transport
- Soulié, Claude and Tricoire, Jean (2002) Le grand livre du TGV, Paris : La Vie du rail
- Hiroshi Hata (1998) “What Drives Electric Multiple Units?”, Japan Railway & Transport Review 17
- Jean-Pierre Arduin and Jincheng Ni (2005) “French TGV Network Development”, Japan Railway & Transport Review 40
- Patrick Landmann (2007) “TGV, a train out of ordinary ... very high speed: It’s now!”
- <http://en.wikipedia.org>
- <http://www.trainweb.org>
- <http://www.eurostar.com>
- <http://www.railway-technology.com>