

# De HST baant zich een weg naar Keulen via de toekomstige tunnel van Soumagne.

## Een overzicht van de werkzaamheden

door Pascal Delizée en ir. Iwan Couchard, toenmalig Diensthoofd Tuc-Rail

*Brussel, het centrum van de Europese Unie verbinden met andere belangrijke steden in de ons omringende landen maakt deel uit van het Europese Plan voor snelle treinverbindingen tussen de belangrijkste steden van de Lid-Staten. Zo zorgt de tweede hoge snelheidslijn in België voor de verbinding tussen Brussel en Keulen. Heel wat belangrijke infrastructuurwerken waren hier toe nodig waarbij een tunnel van 5940 m wel het koninginnestuk is. In het hiernavolgend artikel worden de voornaamste werken van deze nieuwe verbinding beschreven. Een speciaal hoofdstuk wordt aan de tunnelwerken zelf gewijd. Eenmaal ten einde zal de reistijd tussen de belangrijke steden Brussel en Aken met 30 minuten verminderen op een totaal van nu 92 minuten, hetzij met 30%. Het baanvak Luik-Keulen vertegenwoordigt een investering van 630 miljoen EUR voor ongeveer 47 km spoorlijn met een tijdwinst tussen Luik en Keulen van 13 minuten op een huidige reistijd van 35 minuten. Aan de tunnel, het koninginnestuk van de investeringen, werken naast 8 ingenieurs van TUC RAIL niet minder dan 350 personen.*

### Brussel-Keulen per HST gedeeltelijk aan 300 km/h

Men heeft er veel over gesproken..., men heeft zelfs geloofd dat hij er nooit zou komen, maar daar komt hij toch aan! Le Beaujolais nouveau est arrivé...

#### 1. Deel 1: Van Brussel naar Leuven en van Leuven naar Luik: een modernisering van lijn 36 en een deel HSL. Voor Leuven.

Er werd beslist om de bestaande lijn 36 te moderniseren vanaf het Brussels Gewest tot Leuven. Tussen Brussel en Leuven wordt de lijn uitgebouwd tot 4 sporen: de nieuwe buitensporen zijn bestemd voor de tragere treinen, terwijl de binnensporen – de vroegere sporen van de lijn 36 – gemoderniseerd en aangepast worden voor een snelheid tot 200 km/h. Zij zijn bestemd voor de HST's en de snelle IC's. Deze aanpassingswerken zullen in 2006 beëindigd zijn.

Talrijke verbindingen tussen de hogesnelheids-sporen en de klassieke sporen alsook de perrons gelegen tussen de binnen- en de buitensporen zullen zorgen voor een optimale integratie van de snelle en trage lijn.

#### Station Leuven.

Sinds 15 juni 2003 rijdt de HST met een snelheid van 160 km/h door het station van Leuven via de perronsporen II en III. Dank zij een aantal viaducten en kokerbruggen wordt elke kruising met andere lijnen vermeden.

De sporen voor het binnenverkeer werden in belangrijke mate herschikt. Tegelijkertijd werden er verschillende mogelijkheden gecreëerd voor het uitwisselen van verkeer op de HSL en de L36, en dit zowel ten noorden als ten zuiden van Leuven.

#### Verder dan Leuven.

Na de kruising met de L36 ten zuiden van Leuven volgen de beide sporen van de HSL een eigen bedding, los van de L36, in de richting van Bierbeek, om vervolgens de E40-autosnelweg te

volgen. De HST's kunnen hier een snelheid ontwikkelen van 300 km/h, terwijl de snelheid van de IC's 200 km/h bedraagt.

Ter hoogte van de verkeerswisselaar te Crisnée verlaat de HSL de bedding van de E40 en sluit ze ter hoogte van Bierset opnieuw aan bij de L36, die vroeger reeds 4 sporen bezat tussen dit station en Ans. Deze 4 sporen werden volledig gemoderniseerd.

### **Vorbij Ans.**

Vanaf Ans vervolgen de HST's en de IC's hun rit op de bestaande sporen van het hellend vlak van Luik, waar de snelheid zal verhoogd worden van 70 naar 100 km/h. Het station Ans is volledig aangepast: de sporen I en II zijn voorbehouden voor de HST's en de IC's, terwijl de sporen III, IV en V gebruikt worden voor de andere binnenlandse treinen, die praktisch allemaal een halte hebben te Ans.

### **Een werfbasis te Voroux.**

Op de terreinen van het vroegere station Voroux werd ten behoeve van de aanleg van de bovenbouw (sporen, bovenleiding, seininrichting) van de nieuwe HSL een tijdelijke werfbasis gebouwd, terwijl de onderhoudsbasis voor de HSL-infrastructureur werd aangelegd in Ans (het definitieve gebouw moet nog worden opgericht). Op de basis van Voroux zijn thans alle activiteiten stopgezet; ze werd dan ook gedeeltelijk ontmanteld. Een deel van het materiaal werd overgebracht naar Antwerpen-Noord voor de bouw van de werfbasis die de aanleg van de HSL tussen Antwerpen en de Nederlandse grens mogelijk zal maken.

### **In gebruik name van de nieuwe lijn.**

De nieuwe lijn tussen Leuven en Luik wordt gebruikt sedert 15 december 2002. De testen voor de sporen, elektrische voeding en de seininrichting werden uitgevoerd vanaf augustus 2002 met rollend materieel dat gradueel met een hogere snelheid is beginnen rijden. Daarop heeft het Ministerie van Verkeer de nodige toelatingen verleend voor de commerciële exploitatie van de lijn vanaf 15 december 2002 en dit voor de Thalys aan 300 km/h en de IC's aan 200 km/h.

De rijtijd tussen Brussel-Zuid en Luik bedraagt thans 57 min met de Thalys en 70 min met de IC. Deze laatste stopt ook te Brussel-Centraal, Brussel-Noord en Leuven. Wanneer het project volledig afgewerkt zal zijn (2006-2007) met inbegrip van de doortocht van Schaarbeek, zal de rijtijd tussen Brussel-Zuid en Luik-Guillemins nog slechts 40 min bedragen.

## **2. Het nieuwe station Luik-Guillemins: "new look"!**

Het nieuwe station te Luik is een realisatie van de n.v. Euro Liège TGV, een dochteronderneming die op 15 oktober 1993 werd opgericht door de NMBS en de "Ontwikkelingsmaatschappij voor Luik-Guillemins". Het project bestaat uit een volledige ombouw van het station en zijn spoorweginfrastructuur. Hiermee wil men de exploitatievoorwaarden grondig verbeteren en het publiek een attractief en aangenaam commercieel centrum aanbieden.

Met dit doel organiseerde de n.v. Euro Liège TGV een wedstrijd die gewonnen werd door het harmonieuze project van de Spaanse architect Santiago Calatrava. De werken moeten normaal in de lente van 2006 af zijn.

## **3. Deel 2: Vorbij Luik.**

De HSL verlaat Luik in de richting Duitsland via de bestaande sporen van de lijn 37 (Luik - Verviers - Welkenraedt - Aachen) tot in Chênée waar een maximumsnelheid van 160 km/h wordt bereikt. In het station van Chênée wordt een vertakking gebouwd waar de HSL de lijn 37 verlaat. Hier vindt ook de omschakeling van de bovenleidingspanning van 3 kV naar 25 kV plaats. Vervolgens steekt de HSL de Vesder over naar Vaux-sous-Chèvremont, een deelgemeente van Chaudfontaine. Gezien de bocht in het tracé geldt hier een snelheidsbeperking van 180 km/h.

Bij het verlaten van de agglomeratie rijden de treinen de tunnel binnen die de "tunnel van Soumagne" genoemd wordt.

## 4. De tunnel van Soumagne: de HST graaft een spoor naar Keulen door een nieuwe tunnel.

### 4.1. Algemeenheden betreffende de tunnel.

De graafwerken van de tunnel van Soumagne zijn gestart op 14 mei 2001. De tunnelwerken zouden klaar moeten zijn in augustus 2005 voor de aanleg van de sporen, het plaatsen van de bovenleiding en de uitrusting van de seininrichting, opdat de lijn midden 2007 klaar zou zijn voor exploitatie.

Het baanvak voorbij Luik-Guillemins vertegenwoordigt een investering van 630 miljoen EUR (613 685 210 EUR waarde 1994) voor 3 800 m omgewerkte lijn tussen Luik en Chênée, 1 875 m omgewerkte lijn tegen de Duitse grens en 36 200 m nieuwe lijn, in totaal dus 41 875 m tegenover 46 942 m via de bestaande lijn 37.

Dankzij de nieuwe lijn tussen Luik-Guillemins en Aachen Hbf zal de tijdwinst aanzienlijk zijn: 13 min op een rijtijd van 35 min vandaag met de Thalys.

De dubbelsporige tunnel is 5 940 m lang met aansluitend overdekte sleuven van respectievelijk 177 m te Vaux-sous-Chèvremont en 388 m te Ayeneux. Via deze tunnel zullen de HST's vanuit de vallei van de Vesder het plateau van Herve kunnen bereiken.

Het niveauverschil tussen de vallei van de Vesder en de autostrade te José bedraagt 200 m.

De tunnel heeft een continue helling van 17 ‰. Kort voor de tunnel heeft de lijn een helling van 20 ‰, terwijl de helling vlak voor José 25 ‰ bedraagt. Het baanvak tussen de vertakking van de lijn 37 en José heeft een lengte van 12 400 m. De toegelaten snelheid in en voorbij de tunnel tot José bedraagt 200 km/h.

De westelijke ingang van de tunnel bevindt zich te Vaux-sous-Chèvremont (gemeente Chaudfontaine) in de vallei van de Vesder op een hoogte van 90 m. De oostelijke ingang bevindt zich te Ayeneux (gemeente Soumagne) op een hoogte van 210 m. De maximale diepte van de tunnel bedraagt ongeveer 130 m. De NMBS en TUC RAIL hebben de vrije doorsnede van de tunnel (oppervlakte boven het rolvlak) bepaald

op basis van een nominale snelheid van 200 km/h: deze bedraagt 69 m<sup>2</sup>, hetgeen overeenkomt met een uitgegraven sectie van ongeveer 110 m<sup>2</sup>.

In totaal zijn niet minder dan 350 personen betrokken bij de realisatie van de tunnel. Zij werken in 3 shifts (dus 24h op 24) van maandag 5h00 tot zaterdag om 6h00. De weekends zijn voorbehouden voor het onderhoud van het materieel, de verplaatsing van de ventilatie, de drijfkracht en de verlichting naar de fronten, de verlenging van de water- en luchtleidingen, de verlenging van de waterafvoerleidingen, de betonning van de voorlopige vloerplaten en de onvermijdelijke verkenning bij de voortgang.

### 4.2. Uitvoering van de werken.

Rekening houdend met de termijnen die nodig zijn om een dergelijk werk uit te voeren en met de lokale bijzonderheden inzake toegang en opslag van de uitgegraven materialen, werd er besloten om **4 fronten tegelijk** te openen, nl. aan de 2 uiteinden en vanuit een put van 30 m diep met een doormeter van eveneens 30 m aan het gehucht van Bay-Bonnet, dat jammer genoeg gelegen is op 2/3<sup>de</sup> van de lengte van de tunnel.

De tunnelwerken, ongeacht of ze enkel het gewelf betreffen of de volle sectie, schrijden voort met een gemiddelde snelheid van 20 m per week en per front, wat neerkomt op 80 m per week.

Op 25 juli 2003 hebben het opgaande front van Bay-Bonnet en het dalende front van Ayeneux elkaar ontmoet; sindsdien bedraagt het rendement van de tunnelwerken slechts 40 m per week. Op die datum was de tunnel uitgegraven over een totale lengte van 3 759 m.

### 4.3. Een tunnel door de rotsen ....

De tunnel bevindt zich in de steenkoolhoudende lagen van het massief van Herve en het bekken van de Vesder.

De grens tussen beide wordt gevormd door de breuk van Magnée, die waarschijnlijk een voortzetting naar het oosten is van de Eifel-breuk, die gekend is in de vallei van Luik.

De tunnel doorboort van west naar oost over een lengte van ongeveer 3 300 m de rotsformaties van Westfalen, vervolgens de breuk van

Magnée, de kalksteen van Visé ( $\pm 650$  m) en de rotssteen van Namen ( $\pm 1\ 900$  m).

De rotsformaties van Westfalen zijn voornamelijk samengesteld uit rotsen van sedimentaire klei, steenkool-leisteen genoemd; het betreft in werkelijkheid klei of leisteen die niet schilfert.

Deze leisteen bevat lagen zandsteen, afgewisseld met steenkoollagen, die vroeger ontgonnen werden in de destijds aanwezige steenkoolmijnen.

De middelste en hoogste lagen kalksteen van Visé in het bekken van de Vesder zijn samengesteld uit carbonaat sedimenten.

De rotsformaties van Namen bevatten voornamelijk min of meer kalkhoudende leisteen, siliciumhoudende leisteen, leisteen rijk aan organische materialen en in kleine mate dunne steenkooladers die niet geëxploiteerd werden in het verleden.

De gegevens betreffende de mijnactiviteiten (grenzen van de concessies, lokalisatie van de putten en de galerijen) werden geïnventariseerd op basis van het Mijnarchief.

Zeven belangrijke steenkoollagen werden gelokaliseerd.

De geëxploiteerde lagen kunnen problemen opleveren bij de uitvoering van de werken omdat de lagen niet meer samenhangen, de holtes geheel of slechts gedeeltelijke opgevuld geraken en er mogelijk "waterzakken" aanwezig zijn (vrije watermassa's in de open holtes).

In de studiefase werd er een verkenningsgalerij geboord ter hoogte van de breuklijn te Magnée, in de omgeving van Bay-Bonnet, om de nodige gedetailleerde informatie te verzamelen over de geologische en hydrologische karakteristieken van de ondergrond op deze plaats waar belangrijke holten werden vastgesteld tijdens de geologische campagne (er werd meer dan 80 km geboord). Dankzij deze galerij kon men verschillende soorten springstoffen en de overeenstemmende absorptie uittesten.

#### **4.4. De tunnel, vanaf het gewelf tot de afwerking....**

Het gewelf wordt gerealiseerd in stappen van 1,50 m tot 3,50 m afhankelijk van de kwaliteit

van de ondergrond. Elke realisatiestap omvat het uitgraven, het reinigen, het aanbrengen van een eerste laag van 5 cm sneldrogend spuitbeton versterkt met vezels met de bedoeling het front en het gewelf te vrijwaren; het plaatsen van een stalen mal; het boren en het plaatsen van passieve ankerbouten met een lengte van 4 tot 6 m die de rotsen moeten fixeren, en dit alles gevolgd door het aanbrengen van een tweede laag spuitbeton, met een dikte van 20 tot 30 cm die afhangt van de kwaliteit van de omgevende ondergrond. Om het terrein te stabiliseren, werden er dikwijls staven van 40 mm diameter, 6 m lengte op 200 tot 400 mm van elkaar verwijderd, met elkaar vervlochten en die rustten op de laatste mal en de vaste grond. Dit type van behandeling werd frequent aangewend gezien het gemak van de plaatsing en het feit dat de voortgangscyclus niet gehinderd werd.

**De stross:** teneinde het boorfront toegankelijk te houden, wordt deze achtereenvolgens links en rechts uitgegraven. De uitvoering omvat dezelfde stappen als bij het gewelf.

**Het vloergedeelte** wordt eveneens afwisselend links en rechts uitgegraven om een toegang tot het front te behouden. Twee draineerbuizen van 300 of 400 mm diameter worden in een met keien gevulde sleuf geplaatst langs elke steunwand. Links en rechts wordt vervolgens zuiverheidsbeton gestort, waarna een draineringslaag, de wapening en de betonnering worden uitgevoerd onder een brug in lengtes van 30 m. Deze brug over de wapenings- en de betonneringswerf verzekert de toegang tot de achterliggende gedeelten van de tunnel.

**Het geheel van waterdichting en drainering** is samengesteld uit een drainerende mat, een beschermingsfolie (geotextiel) alsook een membraan uit thermoplastische PVC-folie met een dikte van 2 mm, die gezamenlijk op de wanden worden geplaatst. Deze waterdichtingsconstructie wordt geplaatst met behulp van een mobiele loopbrug die alle plaatsen van het gewelf toegankelijk maakt.

**De banketten** worden gerealiseerd aan beide zijden van het spoor. Ze omvatten de brandleiding en de kabelsleuven en vormen het dienstpad.

**De bekleding** wordt gevormd door een ring in gewapend beton met een dikte van 30 cm. Ze wordt gebetonneerd in lengtes van 12,50 m; de bekisting wordt verplaatst door middel van een op rails geplaatste portiek. Om de 2,5 m bevindt zich een ring om de bekleding op te heffen.

Op het gewelf na worden alle andere activiteiten aangestuurd vanuit 2 werkplaatsen, nl. vanuit Ayeneux en vanuit Vaux-sous-Chèvremont. Binnenkort zal een derde werkplaats operationeel worden en deze zal vanuit de put van Bay-Bonnet de werkzaamheden m.b.t. de vloer, het banket en ten dele de waterdichting en drainering in de richting van Vaux-sous-Chèvremont aansturen.

#### **4.5. Een tunnel graven met springstoffen: een high-tech-onderneming!**

Rekening houdend met de hardheid van de rotsen en van hun aard, en gezien het feit dat de tunnel door 3 terreintypes loopt, werd gekozen voor de techniek met een punthamer, gecombineerd met het gebruik van springstoffen voor de doortocht van Visé en voor het uithouwen van de grès-banken in de rotsformaties van Westfalen en deze van Namen.

Daar de ondergrondse rotstypes aan het zichtbare boorfront visueel worden waargenomen kan vlug beslist worden op welke wijze met voornoemde technieken (boren, plaatsen van springstoffen en losmaken van de rots met boorhamers) de meeste vooruitgang kan worden geboekt.

De totale uit te graven sectie van  $\pm 110 \text{ m}^2$  wordt in principe gerealiseerd in stappen van 1,50 tot 3,00 m en in 3 opeenvolgende fasen: eerst het gewelf, daarna de stross en tenslotte de vloerplaat. In de kalksteen werd evenwel telkens een volledige sectie uitgegraven, net zoals te Vaux voorbij de "Grande Delsemme".

Om de springstoffen op hun plaats te krijgen, gebruikt men een "jumbo" boormachine, uitgerust met drie armen, die gelijktijdig 3 boringen kan uitvoeren. Afhankelijk van het geprogrammeerde schietplan worden de richting en de hoek van de boringen lasergestuurd.

Het betreft opeenvolgende ontstekingen van dynamietladingen (1 kg springstof per kubieke meter kalkrots en 0,650 kg in andere terreinen), dit om zo weinig mogelijk schade en hinder te berokkenen aan de bovenliggende bebouwing. Elke ontploffing bestaat uit opeenvolgende kleine ontstekingen die elkaar opvolgen met tussenpauzes van enkele milliseconden en duurt aldus in totaal 5 tot 6 seconden. Op die wijze blijft men onder de strenge grenswaarden van de hier toegepaste Duitse norm 51/40. Bij elke ontploffing is het belangrijk onder de benedendrempel te blijven. Hoewel de bewoners van de dichtste huizen de schokken voelen, is er geen enkel gevaar.

De ontploffingen moeten eveneens zodanig gedimensioneerd worden dat het steenpuin niet in de tunnel wordt geslingerd. Het puin moet ook fijn genoeg zijn – een klein kaliber – zodat het gemakkelijk uit de tunnel kan worden verwijderd en later herbruikt kan worden.

#### **4.6. Stand van de werken op 31 juli 2003**

25 Juni 2003 was een belangrijke datum vermits op die dag het boorfront vanuit de put van Bay-Bonnet in de richting Ayeneux: het front vanuit Ayeneux ontmoette met een afwijking van nauwelijks 8 mm, dit tot grote frustratie van diegenen die liever 2 tunnels hadden bekomen...

Het bouwverlof van 5 juli tot 4 augustus werd aangegrepen om de vloerplaat te Vaux-sous-Chèvremont te wapenen en te betonneren en om de stross, de vloerplaat en het tegengewelf te realiseren ter hoogte van de breuklijn van Mag-née.

Op 31 juli was de toestand de volgende:

	Front van Vaux	Front richting Vaux vanaf de put van Bay-Bonnet	Front richting Ayeneux vanaf de put van Bay-Bonnet	Front van Ayeneux
Uitgraven gewelf en ondersteuning	1 002 m	2 795 m waarvan 30 m put		
Uitgraven stross en ondersteuning	1 002 m	740 m	69 m	667 m
Uitgraven vloerplaat	1 002 m	740 m	0 m	667 m
Plaatsen van drainering onder vloerplaat, wapening en betonnering van vloerplaat	863 m	0 m	0 m	562 m
Plaatsen van waterdichting achter de 2 banketten en betonnering banketten	75 m tunnel	0 m	0 m	363 m tunnel
Plaatsen van waterdichting van opstand en gewelf	0 m	0 m	0 m	60 m
Betonnering van bekleding	0 m	0 m	0 m	50 m

Zoals reeds eerder gezegd, vordert de uitgraving met gemiddeld 20 m per week en per boorfront, wat een behoorlijk gemiddelde is wanneer men rekening houdt met de aard van het terrein.

Op te merken valt dat de doorgang van de breuklijn van Magnée, die zich bevindt aan de grens tussen de kalksteen en de leisteen van Westfalen op ongeveer 650 m van de put van Bay-Bonnet, met succes werd uitgevoerd, doch wel ten koste van 4 maand vertraging.

#### 4.7. De aannemers.

De NMBS heeft een kandidatuurstelling gepubliceerd in het officieel Publicatieblad van de Europese Unie. Negen kandidaten werden geselecteerd en werden uitgenodigd een technische en financiële offerte in te dienen tegen 4 september 2000. De inschrijvers dienden in hun technisch dossier aan te tonen dat ze een dergelijk project perfect beheersten, zodat ze in staat waren een financieel voorstel te maken dat volledig aansloot bij de kwaliteitseisen en de uitvoeringstermijn opgelegd door de NMBS en TUC RAIL.

Na nazicht van de offertes werd het werk op 29 maart 2001 toegekend aan de tijdelijke vereniging "Tunnel de Soumagne", samengesteld uit de volgende ondernemingen: S.M. Bouygues

TP, S.A. Duchêne, Vinci Construction Grands Projects, S.A. CFE, Fougerolle-Borie, S.A. Gallère, Wayss & Freytag A.G.

#### 5. Voorbij de tunnel van Soumagne...

Zodra de HSL terug de oppervlakte bereikt in het gehucht Ayeneux (gemeente Soumagne), doorsnijdt de lijn kleine valleien en lokale wegen in een vrij sterk verstedelijkt gebied. Dit vergt een groot aantal bijkomende kunstwerken vooraleer men de E40-autoweg bereikt: overdekte sleuven, open sleuven, aquaducten en een onderbrugging.

Ter hoogte van José (gehucht in de stad Herve) sluit de HSL opnieuw aan bij de E40-autosnelweg tot in Walhorn.

Verscheidene viaducten zijn in aanbouw: één van 421 m te José, één van 505 m te Herve, één van 1 232 m ter hoogte van de verkeerswisselaar te Battice en één van 235 m over de vallei van de Ruyff.

Zo zijn ook 3 overdekte sleuven gepland: één van 325 m aan de kruising met de N627 juist vóór de verkeerswisselaar van Battice, een tweede van 235 m ter hoogte van de verkeerswisselaar van Elsaute en een derde van 1 100 m onder de autoweg en onder het domein Natura 2000 in de vallei van de Geul.

De nieuwe lijn zal opnieuw op de L37 aansluiten juist vóór het viaduct van Hammerbrücke. Even daarvoor loopt de lijn over de vallei van de Prester door middel van een boogbrug van hetzelfde type als te Leuven.

Het viaduct van Hammerbrücke is intussen vernieuwd. De totale lengte van dit kunstwerk bedraagt 285 m. Niet minder dan 6 270 m<sup>3</sup> beton en 2 720 T wapeningsstaal waren vereist voor de bouw van dit kunstwerk.

De totale kostprijs voor de vernieuwing van het kunstwerk bedroeg 9,35 miljoen EUR, waarvan 8,25 miljoen voor de bouw van het kunstwerk en 1,10 miljoen voor de afbraak van het oude

viaduct, een hachelijke onderneming waarvoor veel dynamiet en angstzweet nodig was.

Het laatste lijnvak tussen het viaduct van Hammerbrücke en de Duitse grens heeft een lengte van 1 800 m. De moderniseringswerken van dit lijnvak zijn beëindigd. De HST's rijden Duitsland binnen met een snelheid van 160 km/h.

## **6. Voorbij de Duitse Grens.**

Voorbij de grens volgen de treinen de klassieke lijn tot Aken aan 160 km/hen vervolgens wordt via de verbeterde lijn tussen Aken en Keulen met een snelheid van 200 km/h de oude machtige stad aan de Rijn bereikt. ■

*Vertaling uit het Frans van een artikel van Pascal Delizée, opgesteld met de medewerking van TUC RAIL, door ir. Jan Milh.*