

www.astrolab.be

AstroLAB's Educatieve Serie

5

Deep-sky fotografie met een digitale camera? Kom nou!

- Hoe kies ik mijn digitale camera ?
- Talrijke URLs naar direct bruikbare internetbronnen
- Uitgebreide studie ivm ruisvorming bij CANON EOS DSLR
- Tientallen grafieken, tabellen en foto's
- Uitgebreide check list voor deep-sky fotografie

Dominique Dierick
Ing. Philippe Vercoutter



AstroLAB's Educatieve Serie N° 5

Deep-sky fotografie met een digitale camera ? Kom nou !

Versie 0.10
Laatste update: 30 November 2005

door ing. Philippe Vercoutter[1], AstroLAB IRIS & PhiHOLD NV, België en Dominique Dierick[2], België
10D/20Da/1D II/ST-10XME data door Philippe Vercoutter
20D/350D data door Dominique Dierick[3]

In deze brochure wordt ingegaan op het fotograferen van hemelobjecten met behulp van digitale fototoestellen. Er wordt achtergrondinformatie gegeven, zodanig dat je op heel wat dingen kunt letten wanneer je zo'n toestel voor astrofotografie wilt kopen.
In het tweede hoofdstuk wordt er ingegaan op allerlei facetten die komen kijken bij het effectief maken van deep-sky astrofoto's met digitale reflextoestellen. Dit deel is wat technischer dan het eerste deel, maar geeft een weelde aan achtergrondinformatie over waarom voor bepaalde technieken wordt gekozen. Alles wordt zo veel mogelijk geïllustreerd aan de hand van CANON EOS-10D, EOS-350D, EOS-20D(a) en EOS-1D II grafieken, foto's, enz. .
Het derde hoofdstuk is een referentiesectie geworden waar de voornaamste testresultaten, facts & figures per CANON EOS model worden weergegeven. Er wordt uiteindelijk afgesloten met een vergelijkend overzicht tussen de CANON EOS modellen en een knipoog naar courante CCD's.
We besluiten deze brochure met een uitgebreide checklist. Deze kan worden afgedrukt en worden gebruikt als een praktische handleiding bij het fotograferen van deep-sky objecten met een CANON EOS digitale camera.
Deze brochure is verre van compleet; er kan uiteraard nog veel meer worden ingegaan op bepaalde onderwerpen, er kan nog meer worden uitgetest, enz. . Bekijk de brochure als een weergave van onze huidige kennis en inzichten verworven op basis van raadpleging van Internetbronnen, persoonlijke contacten en eigen uitgevoerde testen. We hopen deze publicatie, mede op basis van de ontvangen reacties, nog verder up to date te stellen in de nabije of verre toekomst.

In principe is deze brochure in het Nederlands geschreven, maar met het oog op een verdere internationale verspreiding ervan zijn bepaalde stukken en vele grafieken en illustratries reeds in het Engels opgesteld.

Inhoudstafel

1. Keuze van het toestel 5
   1.1. Vooraf: waar niet wordt op ingegaan… 5
   1.2. Camera's: compact of reflex ? 6
   1.3. Vooraf opklapbare spiegel 10
   1.4. Beschikbaarheid van een Bulb stand en afstandsbediening 12
   1.5. Kleurendiepte & RAWs 14
   1.6. Aantal pixels 14
   1.7. Bestuurbaarheid via de computer 16
   1.8. Netstroomadapter 17
   1.9. Dynamisch bereik van de camera 18
   1.10. Ruisniveau van de camera 19
      1.10.1. Een totaal ruisvrij beeld, utopie ? 24
      1.10.2. Soorten ruis 24
   1.11. Scherpstellingsfaciliteiten 24
   1.12. Golflengtebereik van de camera 25
   1.13. Over het verschil tussen een digitale camera en een CCD 29
      1.13.1. Ruis 29
      1.13.2. Digitalisatieniveau's 29
      1.13.3. Full well capaciteit 29
      1.13.4. Kostprijs 30
      1.13.5. Scheidend vermogen 30
      1.13.6. Snelle fenomenen 32
      1.13.7. Blooming 32
      1.13.8. Reflecties 32
      1.13.9. Algemeen besluit 32
   1.14. Overzicht van een aantal digitale camera's & CCD's 34
2. Het werken met een digitale camera 35
   2.1. Een woordje vooraf 35
   2.2. Terminologie - Basisbegrippen 35
   2.3. Een globaal overzicht 38
   2.4. Technieken om het signaal te maximaliseren 40
      2.4.1. Gebruik van lichtsterke lenzen of kijkers 40
      2.4.2. Maximaliseren van de bandbreedte 41
      2.4.3. Gebruik van aangepaste ISO waarde 43
   2.5. Technieken om de ruis te minimaliseren 52
      2.5.1. Keuze van de detector 52
      2.5.2. Gebruik van het RAW formaat 52
      2.5.3. Gebruik van kleine variaties (dithering) 56
      2.5.4. Temperatuurscontrole 57
         Een eerste vaststelling: ruis = f(T) 57
         Een tweede vaststelling: ruis = f(t) 59
         Intervalfotografie 64
         Gebruik van geforceerde koeling 68
      2.5.5. Gebruik van schaalbare darkframes & Noise Reduction 73
   2.6. Conclusies 75
3. Referenties: CANON EOS Facts & Figures 77
   3.1. CANON EOS-20Da 77
      3.1.1. ISO Curves +3°C 77
      3.1.2. Pause Benefit Curve (5 min) 77
      3.1.3. Ruiscurves: 5 min 3/22°C 78
      3.1.4. Ruiscurves: 5 min 3/22°C 800 ASA 79

3.1.5. Ruiscurves: 5 min 3°C 1600 ASA 80
3.1.6. Ruiscurves: 5 min 3°C 1600 ASA gecalibreerd 81
3.1.7. Ruiscurves: 5 min 3°C 3200 ASA 82
3.1.8. Ruiscurves: 5 min 3°C 3200 ASA gecalibreerd 83
3.1.9. Photon Transfer Curve - Versterkingscurve 84
3.1.10. Doorlaatcurve IR Cut-Off filter 85
3.1.11. SNR voor diverse strategiën 86
3.1.12. Amplifier Glow 87
3.1.13. Voorbeeldopnamen 88
3.2. CANON EOS-1D Mark II 90
3.2.1. ISO Curves +22°C 90
3.2.2. Pause Benefit Curve (5 min) 90
3.2.3. Ruiscurves: 5 min 3°C 91
3.2.4. Ruiscurves: 10 min 3°C 91
3.2.5. SNR voor diverse strategiën 92
3.2.6. Amplifier Glow 93
3.2.7. Voorbeeldopname 94
3.3. CANON EOS-350D 95
3.3.1. Ruiscurves: 5 min 3/22°C 95
3.3.2. Ruiscurves met fan: 5 min 3/22°C 95
3.3.3. Doorlaatcurve IR Cut-Off filter 96
3.3.4. Voorbeeldopname 97
3.4. CANON EOS-10D 98
3.4.1. Ruiscurves: 5 min 3/22°C 1600 ASA 98
3.4.2. Photon Transfer Curve - Versterkingscurve 99
3.4.3. Voorbeeldopname 100
3.5. CANON EOS-20D 101
3.5.1. Photon Transfer Curve - Versterkingscurve 101
3.5.2. Voorbeeldopname 102
3.6. CANON EOS Vergelijkingstesten 103
3.6.1. Ruiscurves: 5 min 22°C 1600 ASA 103
3.6.2. Ruiscurves: 5 min 3/22°C 1600 ASA 103
3.6.3. Ruiscurves 350D/20Da: 5 min 3/22°C 800/1600 ASA 104
3.6.4. SNR Curves 10D, 20D, 1DII 105
3.6.5. EOS versus andere digitale camera's & CCD's 106
4. CANON EOS Deep-Sky Checklist 107

1. Keuze van het toestel

1.1. Vooraf: waar niet wordt op ingegaan…

Er wordt hier niet ingegaan op een aantal zaken die ook bij de gewone, de zogeheten natte fotografie met film, van belang zijn om tot een goede astrofoto te bekomen. We verwijzen hier onder andere naar het werk van de leider van de VVS Werkgroep Astrofotografie, Geert Vandenblucke[4]. Je kunt ook terecht op de educatieve website van AstroLAB *IRIS*[5].

Kort gezegd komt het hier op neer dat je best beschikt over een heel goede kijker op een heel stabiele montering met een zeer nauwkeurig volgmechanisme en eventueel uitgerust met een tweede kijker waarmee al dan niet automatisch kan worden gevolgd.

Wel bespreken we hier één van de media waarmee de fotonen kunnen worden vastgelegd. Er zijn immers drie mogelijkheden om dit te doen: film, CCD's of digitale camera's. Enkel op de laatste mogelijkheid, de digitale camera dus, gaan we verder in.

Om alle misverstanden te vermijden dienen we hier aan te stippen dat elk van de 3 mogelijkheden hun eigen verdiensten en gebreken hebben. Deze brochure bevat ook een summiere vergelijking tussen de hedendaagse digitale camera en de CCD om het verschil (en gelijkenissen) tussen beiden goed duidelijk te maken. Zowel bij film, CCD's en digitale camera's is het zeker niet allemaal rozengeur en… maneschijn!

1.2. Camera's: compact of reflex ?

Bij digitale camera's onderscheiden we twee hoofdtypen: Compacte camera's met vaste (zoom)lens, ook wel aangeduid als "point & shoot camera's" (en afgekort als *P&S Cameras*), en spiegelreflexcamera's met verwisselbare lenzen, kortweg DSLR (van digital single lens reflex camera). Bij het laatste type kan men lenzen met allerlei brandpuntsafstanden gebruiken, en ze zelfs met hulpstukken direct achter een telescoop monteren.

Bij de DSLR kijk je met behulp van een prisma en spiegeltje rechtstreeks door de verwisselbare hoofdlens. Deze manier van werken geeft je het voordeel dat je effectief en quasi zonder afwijkingen het beeld ziet die de camera zal vastleggen.

Bij de gewone digitale camera's kun je de lens niet vervangen; ze komt met een definitief gemonteerde lens. Dit heeft als positief gevolg dat detector goed stofvrij kan gehouden worden, maar doorgaans heeft zo'n camera door deze vast gemonteerde lens toch wat minder mogelijkheden. Reflexcamera's geven een veel breder bereik in brandpuntsafstanden dan wat met deze digitale camera's mogelijk zijn. Toch wil dit zeker niet zeggen dat met deze 'Point-and-Shoot' camera's (ook nog *digital compact cameras* genoemd), geen astrofotografie zou mogelijk zijn.

Bij een reflexcamera kun je via twee adapterstukjes, een T-ring en een T-2" insteekhuls, de camera onmiddellijk in het primaire brandpunt van je telescoop plaatsen. In zo'n geval wordt de hoofdlens gewoon verwijderd. Het licht dat in de telescoop wordt verzameld komt dan onmiddellijk op de detector terecht.



Figure 1 Een digitale reflexcamera, de CANON EOS-10D, met zijn typische toebehoren voor astrofotografie.

In vele gevallen wordt voor astrofotografie de verwisselbare lens vervangen door een telescoop. Men verwijdert hiertoe de lens en vervangt die door een combinatie van T- en T-2"-adapters. © 2004, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

Bij een P&S camera moet dit telescooplicht altijd nog eerst door het hele lenzensysteem van de camera zelf. In het algemeen betekent dit een degradatie van de kwaliteit van het beeld (wat zeker niet wil zeggen dat je er geen mooie foto's mee zou kunnen nemen, laat dit duidelijk zijn). Vandaar dat we hier de tip zouden willen geven: geef de voorkeur aan een digitale reflexcamera: je hebt heel wat meer mogelijkheden qua lenzen en bij het fotograferen met een telescoop kun je onmiddellijk de fotonen gecapteerd door de sterrenkijker tot bij de detector krijgen. Onthou dat het meestal zo is dat naarmate het aantal optische onderdelen vermindert je over het algemeen een beter resultaat krijgt: de kleuren blijven natuurgetrouwer, scherpte beter en de transmissie is ook beter. Immers, hoe meer glas/luchtoppervlakken en coatings een lichtstraal moet doorspartelen, hoe meer kans je hebt dat er ergens iets verkeerd gaat.



Figure 2 De Melkweg gefotografeerd op een brandpuntsafstand van 16mm, Allos (Frankrijk), 1 Augustus 2005.

Digitale reflexcamera's hebben als voordeel dat je een hele reeks verwisselbare lenzen of telescopen kunt inzetten. Deze opname bijvoorbeeld kwam tot stand door gebruik te maken van een CANON EF 16-35 mm f/2.8 L breedhoeklens. Als camera werd een CANON EOS-20Da gebruikt (25 opnames van elk 8 minuten op 1600 ASA @ f/5.6). © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.



Figure 3 Een detailfoto van de Melkweg, meer bepaald het H-alfa gebied NGC 7000 Noord-Amerikanevel, gefotografeerd op een brandpuntsafstand van 200 mm, Allos (Frankrijk), 31 Juli 2005.

Deze foto kwam tot stand met dezelfde digitale reflexcamera, een CANON EOS-20Da, en geeft een heel klein stukje weer uit foto 1. Het verschil in brandpuntsafstand met foto 1 is meer dan een factor 12 (200 mm versus 16 mm). Opnamegegevens: 31 x 6 minuten op 1600 ASA. Als lens werd een CANON EF 70-200 f/2.8 L USM @ 200 mm ingezet. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

1.3. Vooraf opklapbare spiegel

Wanneer je aan hoge(re) resolutie zonne[6]-, maan- en (in mindere mate[7]) planeetfotografie wil doen, is het best een reflexcamera te kopen waarbij de opklapbare spiegel omhoog kan worden gezet vooraleer de eigenlijke foto wordt genomen. Indien je camera dit niet kan, dan zal bij het afdrukken de spiegel omhoog klappen en trillingen doorgeven aan de rest van de camera en/of telescoop. Hierdoor kan bewegingsonscherpte optreden. Voor deep-sky is het hebben van een opklapbare spiegel niet echt een noodzaak, tenzij er hele heldere sterren in het beeldveld staan. Ook dan kun je soms afwijkingen zien aan deze heldere sterren.
Volledigheidshalve kunnen we hier toevoegen dat voor de CANON EOS-300D een speciale firmware versie[8] bestaat die, alhoewel ze niet door de constructeur wordt ondersteund, toelaat om bij deze camera toch de spiegel vooraf te laten opklappen.
Ondersteunt je digitale camera niet het vooraf opklappen van de spiegel, gebruik dan minstens al de voorziening dat toelaat om uitgestelde opnames te maken. Deze voorziening maakt het mogelijk om niet onmiddellijk maar na bijvoorbeeld pas 10 seconden een opname te maken. Doordat het eigenlijke afdrukken automatisch gebeurt worden op zijn minst al geen trillingen door de fotograaf doorgegeven aan de camera. De trillingen die worden veroorzaakt door het eigenlijk opklappen van de spiegel blijven echter bestaan. Het werken met uitgestelde opnames is dus een tussenoplossing.

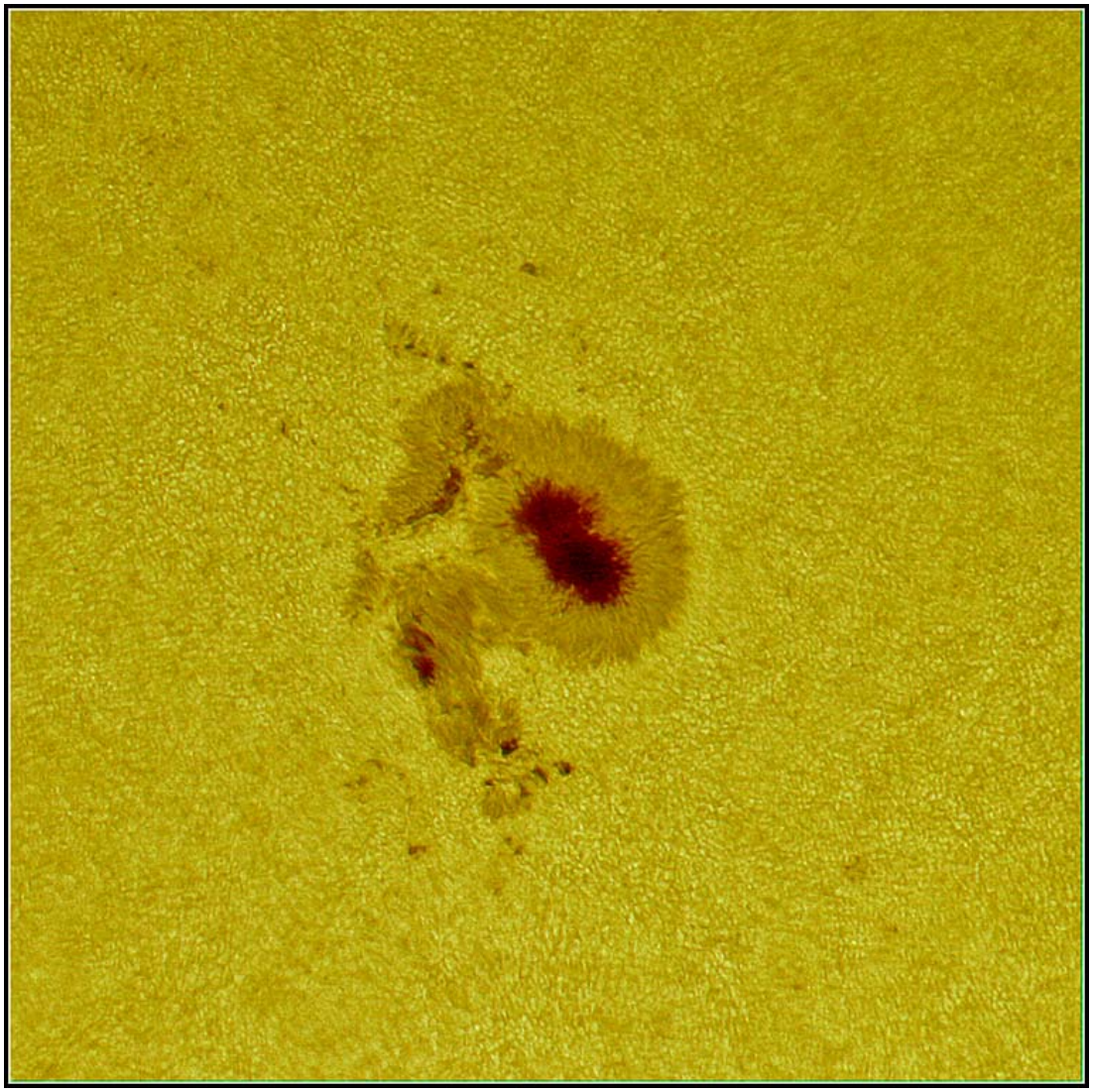


Figure 4 Zonnevlek AR10756, Ieper (België), 1 Mei 2005 12h 11m UT

Wil je met je digitale reflexcamera een hogere resolutie foto van de zon maken, dan is het best dat de spiegel vooraf kan worden opgeklapt. Deze techniek werd voor bovenstaande foto aangewend. Er werd gebruik gemaakt van een 175 f/8 TMB telescoop en Tele Vue Powermate 4X. CANON EOS-1D II. Opnamesnelheid: 1/4000 s bij 125 ASA. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

1.4. Beschikbaarheid van een Bulb stand en afstandsbediening

Voor Zon-, Maan- en planetenfotografie volstaan doorgaans belichtingstijden van 1/8000 tot 1/8 seconde. Omzeggens alle camera's kunnen dit sluitersnelhedenbereik aan. Het probleem begint meestal bij deep-sky omdat dan meestal belichtingstijden van boven de 30 seconden nodig zijn. Standaard wordt, om een of andere duistere reden, slechts belichtingen tot 30 seconden toegelaten. Wil je langer belichten, dan moet de camera een zogheten bulb stand hebben. Wanneer je deze instelling selecteert, dan zal de sluiter zolang openblijven als je de ontspanknop ingedrukt houdt. En aangezien je zeker niet wil 10 minuten een knop ingedrukt houden heb je ook een draadontspanner nodig, zeg maar een afstandsbediening. Een aantal digitale camera's hebben deze mogelijkheid niet. De CANON EOS-10D, EOS-20D, EOS-20Da, EOS-1D II, enz. hebben deze mogelijkheid alvast wel. Voor deze camera's is zelfs een afstandsbediening met interval-timer beschikbaar en kun je alles via de computer volledig besturen aan de hand van een aangepast kabeltje. De Nikon D70 daarentegen komt met een draadloze IR-afstandsbediening. De Nikon D70s heeft opnieuw een gewone remote aansluiting.



Figure 5 Het oostelijk deel van de sluiternevel (NGC 6992), Allos (Frankrijk), 3 Augustus 2005

De meeste deep-sky foto's komen tot stand door het opnemen van een aantal foto's van langere belichtingsduur na elkaar. Deze opname kwam tot stand door het nemen van 12 opnames van elk 10 minuten. In totaal werd er dus 2 uur belicht. Een bulb-stand is dus onontbeerlijk.
Opnamegegevens: 12 x 10 minuten op 1600 ASA, Astro-Physics 155 EDFS f/7, en met een focal reducer Astro-Physics 0.75X teruggebracht op f/5. Als montering werd een Astro-Physics 900 GTO ingezet. *© 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.*



Figure 6 De betere digitale reflexcamera heeft een digitale interval-timer ter beschikking.

Eén interval-timer is een belangrijk accessoire voor diegene die aan deep-sky of sterrenspoorfotografie willen doen. Met de CANON TC-80N3 kun je instellen dat hij na bijvoorbeeld x minuten, om de y minuten een opname van z minuten moet nemen. Dit alles kan zonder dat hiervoor een PC nodig is, wat zeer interessant is voor waarnemingen in het vrije veld waar niet altijd een PC voorhanden is. Dergelijke interval-timers zijn bijzonder interessant voor het maken van time-lapse astrofoto's (intervalfoto's). Kijk even na of je digitale camera over dergelijk accessoire wel beschikt. De foto toont ook aan hoe je de TC-80N3 kunt aanpassen zodanig dat die zowel werkt voor de EOS-20D/20Da als de EOS-300D en Rebel XT. © 2005, Dominique Dierick, België.

1.5. Kleurendiepte & RAWs

Digitale camera's worden in allerlei maten, geuren en kleuren verkocht. Eén van de punten waarin de camera's onderling verschillen is in het aantal kleuren die ze kunnen weergeven. In de gewone digitale camera's worden de 3 hoofdkleurkanalen gedigitaliseerd in 256 mogelijke waarden (8 bit = 256 waarden). In de betere digitale camera's worden de Rood-, Groen- en Blauwkanalen gedigitaliseerd tot op 4096 mogelijke waarden. In dergelijk geval spreken we over een 12-bit camera, omdat $2^{12} = 4096$. Een foto genomen met een 12-bit camera zal veel meer tinten bevatten dan dezelfde foto genomen met een 8-bit camera of, nog anders gezegd, het dynamisch bereik is beter. Je ziet ook onmiddellijk in dat deze 12-bit camera's heel duidelijk de brug maken tussen de goedkope 8-bits P&S camera's en de duurdere 16-bits CCD's.
De 12-bit camera's kunnen hun beste resultaten niet opslaan in JPG formaat, aangezien JPG tot op vandaag in principe slechts 8-bit aankan. Daarom geven deze camera's hun 12-bit resultaten weer in een bestandsformaat dat eigen is aan de fabrikant. In de beste gevallen krijg je als fotograaf toegang tot de originele pixeldata zoals die in de detector werden opgemeten. Dit onbewerkte en ongeïnterpreteerde bestandsformaat noemen we het RAW-formaat. Zoek dus zeker naar een digitale camera die het werken met RAW-formaten toelaat. Neem dus bij voorkeur geen camera's die enkel en alleen met JPG werken.
Er is nog een groot voordeel bij het werken met RAW-bestanden. Bij een JPG-bestand wordt onmiddellijk de basisinformatie al bewerkt (bijv. kleurinterpretatie, contrast- en helderheden worden bijgewerkt, witbalans doorgevoerd, gamma bijgesteld, etc.). Komen er later nieuwe algoritmes of software beschikbaar, dan kun je nog weinig doen met deze JPGs omdat deze al geïnterpreteerd zijn. Heb je echter nog de echte originele, niet-geïnterpreteerde, data dan kun je profiteren van deze nieuwe algoritmes en alles volgens deze nieuwe inzichten herbewerken. Zo kun je soms maanden- of jarenoude foto's een totaal nieuw leven geven. Dit hebben wij zelf aan de lijve kunnen ondervinden.

1.6. Aantal pixels

"*Moet ik nu een 1 of een 16 Megapixel toestel kopen om aan astrofotografie te doen?*", dat is de vraag die velen stellen. Hier zouden als vuistregel durven stellen dat opnieuw, in het algemeen, méér ook beter is. Toch moet je rekening houden met het feit dat bij gelijke afmetingen van de detector, een groter aantal pixels ook betekent dat de individuele pixelgrootte verkleint. Kleinere pixels betekenen wel dat je in principe scherpere beelden kunt bekomen (gesteld dat je optisch systeem zeer goed is), maar ook dat de signaal/ruisverhouding wat zal afnemen en de gevoeligheid van de camera wat zal dalen. Immers, indien je pixel wat groter is heb je meer kans dat die gevuld raakt met fotonen; je hebt een dus wat hoger signaal per pixel.

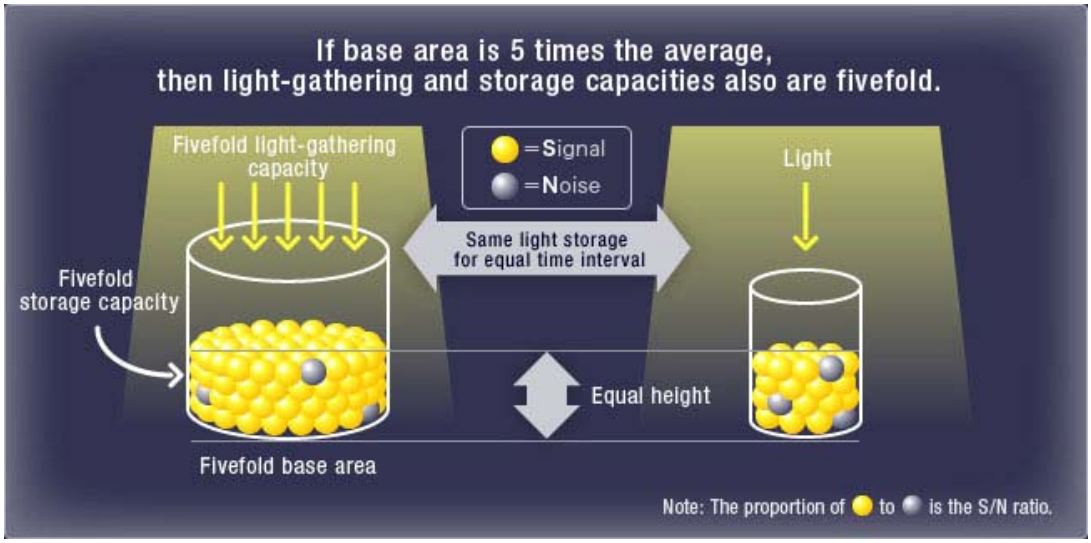


Figure 7 De invloed van de grootte van een pixel op de signaal-ruis-verhouding.

Gedurende een bepaald tijdsinterval zal een grotere pixel meer fotonen vangen dan een kleinere, terwijl het aantal ruiselectronen toch ongeveer constant zal blijven. Hierdoor is de SNR in principe beter bij grotere pixels. Om de SNR nu toch te verbeteren bij kleinere pixelgroottes, wat de hedendaagse trend is om de resolutie te verbeteren, zal men dus andere technologische ingrepen moeten doen (microlensjes gebruiken, dode ruimte tussen de pixels verminderen, enzovoort).
Bron : http://web.canon.jp/Imaging/cmos/technology-e/size.html .

Nu mag je zeker niet tot de verkeerde conclusie komen dat in de nieuwere camera's er bij de hogere pixelaantallen de SNR altijd slechter zou zijn. Zo bijvoorbeeld was de CANON EOS-10D een 6 megapixel (afgekort als Mp) camera, en de CANON EOS-20D een 8 Mp. De pixels van deze laatste camera zijn beduidend kleiner dan bij de 10D, maar doordat de fabrikant zijn technologie[9] heeft wat bijgesteld scoort de EOS-20D toch significant beter qua SNR dan de EOS-10D (zie de grafiek onder puntje *1.10 Ruisniveau van de camera*).

1.7. Bestuurbaarheid via de computer

Eén van de technieken die bij digitale astrofotografie wordt gebruikt is het maken van meerdere opnames van bijvoorbeeld 5 minuten elk, na elkaar. Nadien worden deze beelden dan samengenomen om aldus tot een betere signaal-ruis-verhouding te komen. Later hierover meer. Wat er nu van belang is is om in te zien dat je dit alles best kun doen via de besturing van een PC. Daarom hebben de betere digitale camera's de mogelijkheid om via een USB poort of Fire-Wire te communiceren met een PC. Op de PC kun je dan dingen als ISO en belichtings- en intervaltijden instellen en kun je vragen de foto's direct doorgestuurd te krijgen naar je PC. Zo moeten ze dan niet langer opgeslagen worden op de soms nogal prijzige en tragere Compact Flash-geheugenkaartjes in de camera zelf. Het levert ook nog als bijkomend voordeel op dat je de foto's op groot formaat kunt inspecteren (wat de controle op scherpte vergemakkelijkt, om maar één aspect te vermelden). Let er dus op dat je een camera koopt die software heeft waarmee hij zichzelf laat besturen.

De échte top-astrofotografen werken meestal met heel speciale software (zoals bijvoorbeeld MaximDL[10], ImagesPlus[11], DSLRFocus[12], IRIS[13], …) waardoor heel wat extra dingen mogelijk worden. Het zou ons te ver leiden om hier allemaal nu al op in te gaan, maar het is misschien best om al even te kijken of dergelijke gespecialiseerde software je camera wel ondersteunt. Niks is frusterender dan te moeten vaststellen dat je wel een goede camera hebt… maar dat door niemand of geen enkele software wordt ondersteund. Kies je voor CANON of Nikon D70(s), dan zit je meestal wel goed. Andere merken of types zijn soms problematischer vanuit dit standpunt bekeken.

1.8. Netstroomadapter

Digitale camera's werken meestal op batterijen. Dat is op zich een goede zaak. Wanneer je echter aan deep-sky fotografie wil doen, dan zullen belichtingstijden van ettelijke uren soms noodzakelijk zijn om voldoende signaal op te bouwen. Meestal kunnen de batterijtjes dit niet aan. Ook mag je niet vergeten dat tijdens koudere winternachten de temperatuur zodanig laag kan zijn dat deze batterijtjes nog nauwelijks stroom kunnen geven. Daarom is het een goede zaak een digitale camera te kiezen waarvoor een netstroomadapter voorhanden is. Deze adapter laat toe je camera direct op het gewone 220V net aan te sluiten. Je hebt dan zeker geen problemen met slechtwerkende of lege batterijen. Wanneer je bijvoorbeeld een sterrenspooropname van zo'n 6 uren wil maken, dan is dit niet langer een optie, wel gewoon bittere noodzaak. Waarom bitter ? Omdat al deze toebehoren natuurlijk ook geld kosten. De CANON EOS-20Da en EOS-1D II komen standaard met zo'n netstroomadapter, maar in bijna alle andere gevallen dien je dit afzonderlijk te kopen. Niet vergeten bij te bestellen dus, tenzij je opteert voor een tweede batterij (die je dan ook moet bijstellen). Deze laatste heeft dan wel als nadeel dat je mogelijks je opnames moet onderbreken om een nieuwe batterij te plaatsen. Hierbij verlies je dan onherroepelijk de communicatie met de PC, moet je de timer eventueel opnieuw instellen en activeren, enz. . Een tweede batterij heeft natuurlijk dan wel weer als voordeel dat je die dan altijd achter de hand hebt voor het geval bij dagfotografie de eerste batterij leeggelopen is.



Figure 8 Sterrensporen, Talma, Grandpré (Frankrijk), 9 Februari 2005

Wil je opnames met een lange belichtingsduur maken, zoals bijvoorbeeld een reeks van dergelijke sterrenspooropname's, dan is een netstroomadapter quasi onontbeerlijk. Deze opname werd gemaakt met een CANON EOS-1D Mark II camera en CANON EF 16-35 mm f/2.8 L lens op de 16 mm stand. Dit is een single shot opname van één uur bij ISO 250 ASA en f/5.6. Merk op dat het ruisniveau nog heel behoorlijk is. Vooraleer deze opname werd gemaakt achtte bijna niemand het voor mogelijk om met behulp van een digitale camera dergelijke ruisvrije opname's te maken van één uur. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

1.9. Dynamisch bereik van de camera

Ieder beeldelement (pixel) van de detector van een digitale camera kan een aantal electronen herbergen. Een stuk van de electronen is afkomstig door warmte, de rest wordt gegenereerd door invallend licht. Per foton dat er op het halfgeleidermateriaal valt, komt er precies één electron vrij.

Eigenlijk moeten we dit zelfs wat nauwkeuriger beschrijven: er is *kans* dat er een electron vrijkomt. Het percentage fotonen die in een halfgeleidermateriaal écht aanleiding geeft tot een electron noemen we de Quantum Efficiency (afgekort als QE).

De capaciteit (in het vakjargon wordt dit *full well capacity* genoemd) van zo'n beeldelement is best zo groot mogelijk. Hoe groter deze capaciteit en hoe lager het ruisniveau zijn, des te groter het dynamische bereik van de digitale camera is. Bij de Nikon D70 is de full well capacity 42.100 electronen, bij de CANON EOS-1D Mark II is dit reeds opgelopen tot 52.300. Hierin onderscheidt een duurdere camera zich ook van de goedkopere modellen. Een overzichtje van deze full well capaciteiten vind je terug onder *1.14. Overzicht van een aantal digitale camera's & CCD's*. De SBIG ST-10XME, een echte CCD camera, heeft een full well capacity van maar liefst 77.000. Voor een SBIG STL-11000C/CM ligt dit echter wat onder het niveau van de CANON EOS-1D Mark II.

1.10. Ruisniveau van de camera

Stel dat je nu uiteindelijk een digitale reflexcamera op het oog hebt, een 6 of 8 Mp model die met RAWs overweg kan en een opklapbare spiegel heeft. Je komt dan terecht bij merken als Pentax, Fuji, Nikon, Canon, enz. Waarin verschillen dergelijke camera's dan eigenlijk nog onderling ? Welnu, dé grote differentiator is dan nog de mate waarin ze ruis genereren. Sommige camera's zijn gewoon waardeloos wanneer je opname's probeert te maken in de bulb-stand (lange belichtingstijd stand). Neem een 5-minuten-foto met de camera terwijl het deksel nog op de lens zit. Zo'n opname noemen we een darkframe. Normaal gezien zou zo'n foto er perfect zwart moeten uitzien. Toch zal dit omzeggens nooit het geval zijn aangezien door interne warmte van de detector ook signaal zal ontstaan. Door thermische energie dus zullen zich in de detector in de diverse pixels ook electronen nestelen, die dan ten onrechte zullen worden aanzien als signaal. Omdat deze electronen niet werden gegenereerd door binnenkomend telescooplicht, maar dus zoals gezegd ontstaan door warmteontwikkeling in de camera, is dit voor ons eigenlijk ongewenst signaal, en noemen we dit bijgevolg ruis. Wat we moeten proberen te zoeken zijn camera's met een uitstekende signaal/ruis verhouding (meestal wordt de engelstalige afkorting SNR gebruikt – signal noise ratio). Aangezien het signaal voor alle camera's hetzelfde is bij het gebruik van een welbepaald optisch instrument (lens of telescoop), komt het er eigenlijk hierop neer dat we de camera moeten zoeken met het laagste ruisniveau; de SNR is dan het hoogst.

Tot op vandaag scoren de CANON EOS reflexcamera's hierin het best. Ook de Nikon D70 en de CANON EOS-300D doen het zeker ook niet slecht, alhoewel het ruisniveau toch al beduidend sterker is in vergelijking met de EOS-toestellen. Dit alles samen heeft er toe geleid dat de beste astrofoto's gemaakt met digitale reflexcamera's quasi allemaal afkomstig zijn van de CANON EOS-10D, EOS-300D, EOS-350D, EOS-20D, EOS-20Da en NIKON D70.

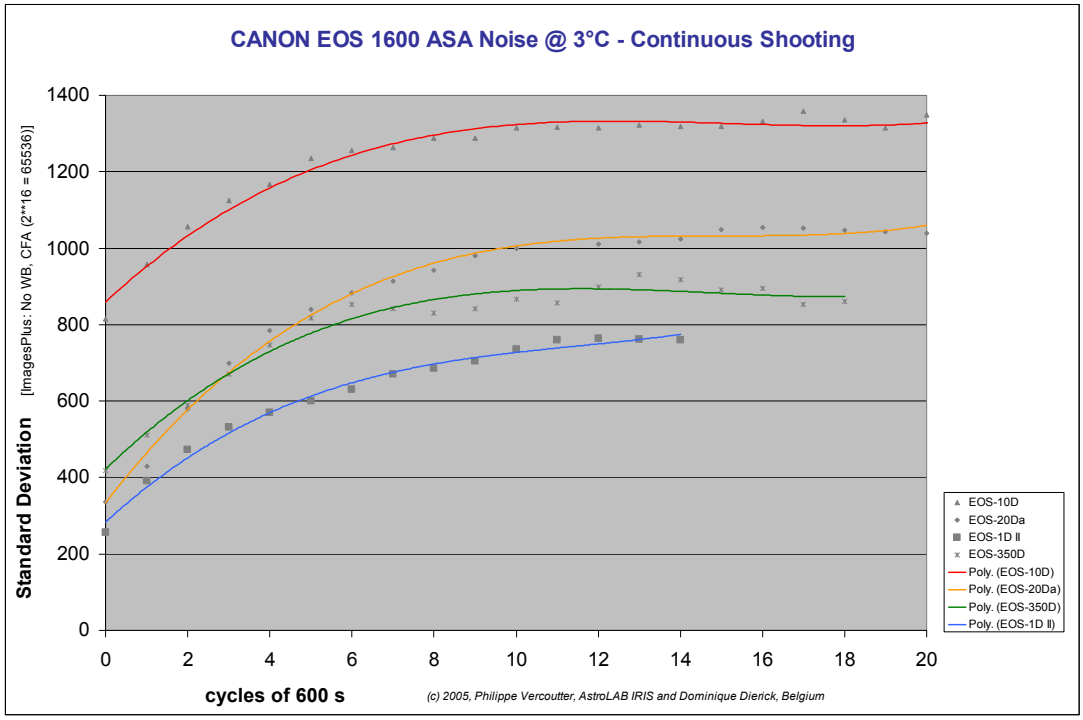


Figure 9 CANON EOS 1600 ASA ruis bij 3°C en continu fotograferen

Deze grafiek toont voor 4 verschillende types van CANON EOS fototoestellen het ruisniveau. Om dit ruisniveau te bepalen werd via ImagesPlus 2.5 de standaarddeviatie bepaald van 1600 ASA darkframes van 10 minuten bij een temperatuur van 3°C (de 12-bit output van de camera werd hiertoe herschaald naar 16-bits). De standaarddeviatie is een goede maat voor het ruisniveau van een opname omdat het aangeeft hoe sterk de pixelwaardes afwijken van de gemiddelde waarde van het beeld. Hoe meer variatie, hoe hoger de standaarddeviatie is en hoe meer ruis er dus in de opname voorkomt. Merk op dat de 20Da beduidend beter scoort dan het eerste generatie 10D (hoe hoger de grafiek, hoe meer ruis). De EOS-1D II, een camera bestemd voor semi-professionelen, doet het nog wat beter qua ruis en dit wellicht door zijn grotere pixel dan de 20Da en de 350D. Merk op hoe de ruis toeneemt naarmate men meer en meer direct na elkaar foto's neemt. Hiermee wordt direct duidelijk hoe temperatuursgevoelig deze ruisvorming ook is. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS en Dominique Dierick, België.

Wat nog een punt van aandacht is wanneer we over ruisvorming binnen de camera spreken is het type van ruis dat wordt gegenereerd. In sommige camera's komt de ruis in bepaalde patronen of vlekken voor (we spreken van *fixed-pattern noise*). Zo'n patroonvormige ruis ontstaat doordat de pixels niet allemaal op precies dezelfde manier worden versterkt. Fixed pattern noise is zeker geen goede zaak (tenzij het niveau ervan bijzonder laag is). CANON probeert dit verschijnsel op een heel eigen manier in te dijken op hun tweede generatie CMOS chips[14].

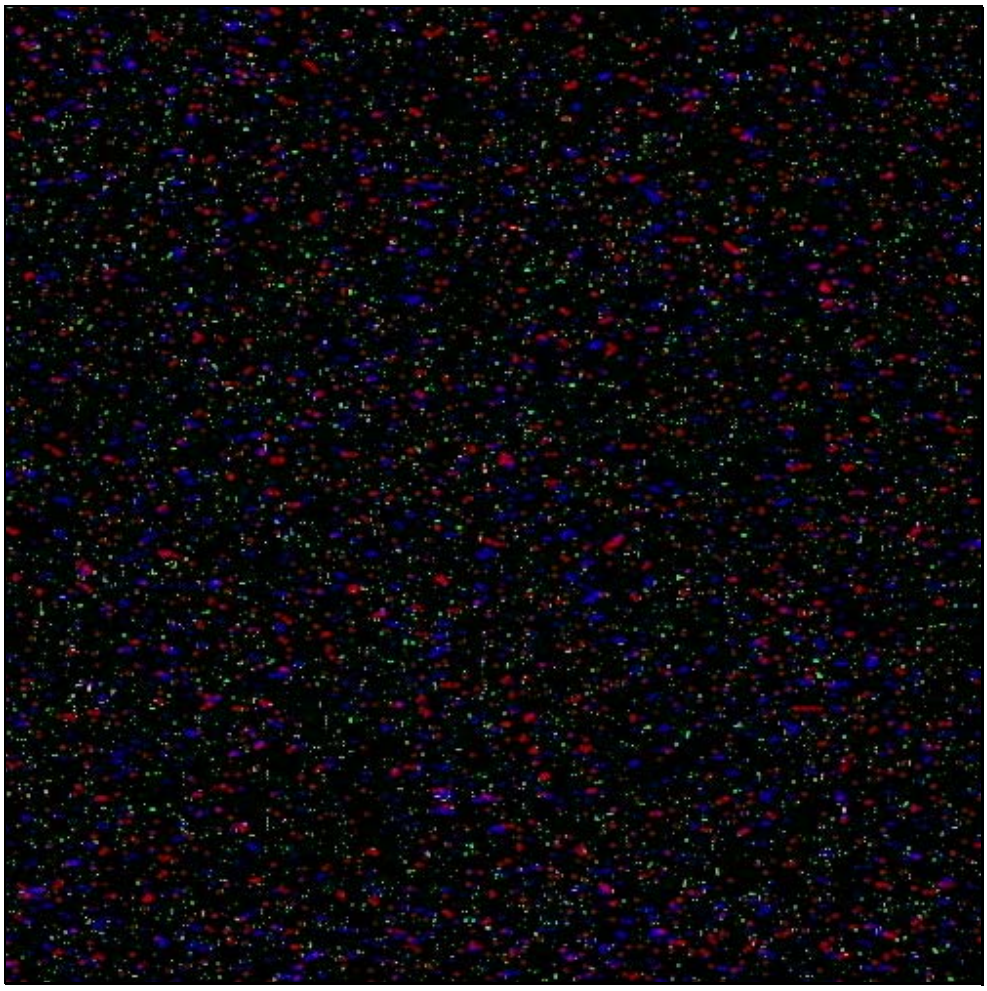


Figure 10 Voorbeeld van fixed pattern noise op een 1600 ASA 22°C opname van een CANON EOS-20Da.

Deze foto geeft een stuk op ware grootte weer van een gedeelte van een darkframe opgenomen met de nieuwe CANON EOS-20Da opname. Het betreft de 23-ste opname uit een reeks, wat betekent dat de camera dan al sterk was opgewarmd. We zien hier heel duidelijk dat we niet te maken hebben met pixelvormige ruis, maar wel eerder met vlekjes van ruis. Deze ruisvlekjes vormen een vast patroon over alle opnames heen, vandaar dat we dit fixed pattern noise noemen. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

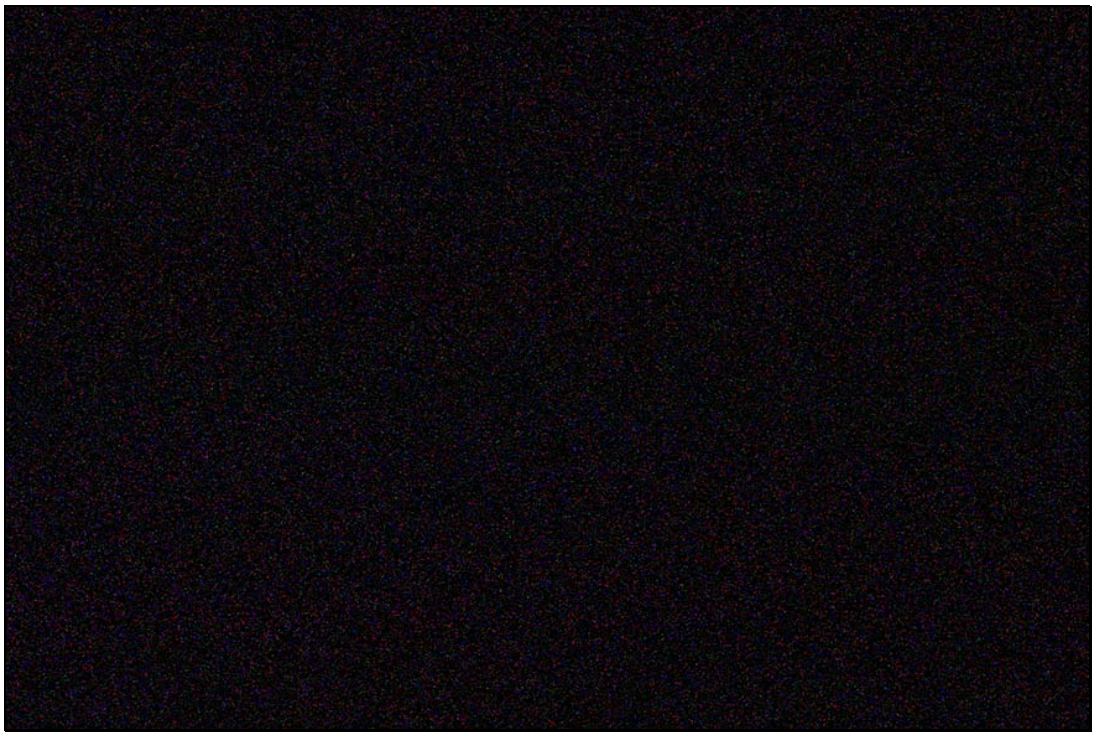


Figure 11 Voorbeeld van een volledige CANON EOS-20Da darkframe bij 1600 ASA en 22°C. (23ste opname uit de reeks).

Deze foto geeft (verkleind) de volledige darkframe van uit de vorige figuur weer. Als we het dus wat op een grotere schaal bekijken ziet de verdeling van de ruis er toch tamelijk « normaal » verdeeld uit: er komt overal ongeveer evenveel rode, groene en blauwe ruis voor. Op macrovlak ziet het er dus op het eerste zicht niet zo slecht uit. Hét probleem is echter dat wanneer men diverse dergelijke opnames maakt, het steeds op dezelfde plaatsen zijn dat de ruis ontstaat. Wanneer men normaal verdeelde ruis uitmiddelt, dan verdwijnt die. Bij fixed pattern ruis zal uitmiddelen niet veel helpen. Integendeel, stacken we dergelijke darkframes dan zullen die vlekjes als echt signaal worden gezien, wat helemaal niet de bedoeling is. Dé manier om van de fixed-pattern noise van af te geraken is de opnames te calibreren: dit wil zeggen dat we van de opnames een (gemiddelde) darkframe er van aftrekken. Of nog anders gezegd: we trekken gewoon de fixed-pattern noise af van het signaal, waardoor we een tamelijk ruisvrij beeld bekomen.
© 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

Je bent dus beter af met een camera die een zeer gelijkmatige, uniform verdeelde ruis genereert. Is de ruis uniform verdeeld, dan kun je die door het stapelen van beelden en deze statistisch te verwerken, grotendeels wegwerken; 't is te zeggen de SNR sterk verbeteren. Indien je met vlekvormige ruis zit dan kun je echt met blinde vlekken in je opnames te maken hebben die nadien veel moeilijker weg te werken zijn.
Tot overmaat van ramp genereren sommige camera's extra ruis in de nabijheid van de electronische versterkers die vlakbij de detector zitten. We spreken dan van *amplifier glow*. Onnodig te zeggen dat ook dit type van noise best zoveel mogelijk wordt vermeden. De CANON EOS-10D, EOS-300D en NIKON D70 scoorden daarin niet zo goed, de EOS-20D, EOS-350D en EOS-1D II scoren daarin opmerkelijk beter.

Belangrijk gegeven is dat sommige camera's wel een erg vervelende manier van noise onderdrukking gebruiken. De Nikon D70 en D50 hebben een ingebouwd softwarematig mediaanfilter. Dit filter wordt altijd toegepast, zelfs in RAW mode, bij lange belichtingen. Het vermindert uiteraard de ruis, maar filtert ook de zwakkere sterren effectief weg. De enige mogelijkheid om dit tegen te gaan is de camera gewoon uit te schakelen tijdens een (overbodige) long exposure noise reductie. Of dit echt (on)gezond is voor camera en compact flash kaart is niet bewezen, en bovendien maakt het automatiseren van sequenties onmogelijk. Heel het gebeuren moet dan manueel, beeld per beeld worden uitgevoerd.

1.10.1. Een totaal ruisvrij beeld, utopie ?

Stel dat we over een volledig perfecte, zeg maar ruisvrije camera, zouden beschikken. Kan men in dat geval ooit een totaal ruisvrij beeld bekomen ? Het antwoord hierop is volmondig: "*Nee!*". Een fotonenstroom komt nooit als een homogene fotonenstroom aan op de detector. Dit betekent dat wanneer men een stroom van een bepaalde lichtintensiteit op de detector loslaat, men nooit zal meten dat alle pixels dezelfde waarde zullen hebben. Deze pixelwaarden zullen voldoen aan de zogeheten Poisson-verdeling.
Stel dat een pixel in totaal S electronen kan bevatten (de *full well capacity* zoals hierboven gedefinieerd), dan zal de maximale statistische variatie gelijk zijn aan de vierkantswortel uit S. De signaal-ruis-verhouding zal in het beste geval dus gelijk zijn aan: SNR = S / SQRT(S) . Voorbeeld: in het geval van de CANON EOS-20D zullen we nooit een SNR kunnen bekomen die beter is dan 50.000 / SQRT(50.000) = 224. In het geval van de CANON EOS-1D Mark II bijvoorbeeld heeft Roger N. Clark aangetoond dat de camera dit theoretisch maximale SNR bereikt.[15] In het geval men de ISO waarde optrekt van 100 naar 200 ASA, dan capteert de digitale camera natuurlijk niet plots meer fotonen (dat blijft constant), maar wordt slechts de onderste helft van mogelijke pixelwaardes ingelezen. Of anders gezegd: de full well capacity wordt *als het ware* gehalveerd tot zo'n 25.000 wat resulteert in een maximale SNR van 158. Bij 1600 ASA loopt de maximale SNR terug tot om en bij de 56.
Nog snel even meegeven dat een digitale camera als de CANON EOS-1D II bij 100 ASA een SNR heeft die een factor 3 tot 8 x beter is dan de Fujichrome Velvia 50 ASA fotofilm.

1.10.2. Soorten ruis

We hebben net aangehaald dat licht intrinsiek met ruis komt. We noemen dit in vakjargon *shot noise* of *photon noise*. Naast deze ruis hebben we *thermische ruis*, de electronen die vrijkomen doordat het halfgeleidermateriaal wat opgewarmd is. Hoe warmer de camera, hoe meer thermische ruis, vandaar dat de digitale camera best wordt afgekoeld. Naast de shot noise en thermische ruis hebben we ook nog *uitleesruis* (*read out noise*): dit zijn kleine afwijkingen die ontstaan bij het uitlezen van de digitale waarde van een pixel. Ook bij het digitalisatieproces zelf, waarbij spanningen worden omgezet in cijfertjes, ontstaat een kleine ruis (*digitisation noise)*.

1.11. Scherpstellingsfaciliteiten

De meeste digitale camera's hebben een wat kleine zoeker en relatief donker matglas. Daardoor is het scherpstellen van nachtelijke scènes niet zo evident. Als je een digitaal fototoestel hebt gekocht met verwisselbare matglazen kun je eventueel voor een model kiezen dat wat lichtkrachtiger is. Tegenwoordig kan je bij bepaalde leveranciers ook matglazen aanschaffen wanneer de fabricant van de camera zelf het wat laat afweten (*Katz Eye* voor CANON EOS-350D en EOS-20D bijvoorbeeld).
De CANON EOS-20Da heeft dan weer een andere aardige voorziening dat het scherpstellen vergemakkelijkt: ze heeft 2 standen die de astrofotograaf onmiddellijk video feedback geeft via het ingebouwd LCD scherm en dit voor 2 verschillende uitvergrotingsfactoren. Dit systeem werkt zeer goed.

1.12. Golflengtebereik van de camera

Om allerlei beeldafwijkingen zoals kleurafwijkingen en digitalisatieproblemen (bijv. Moiré effecten) te vermijden plaatst men standaard in de hedendaagse digitale camera's een zogeheten anti-aliasing en Infrarood-blokkeerfilter. Dit filter, dat net voor de detector gemonteerd zit, zorgt er voor dat een belangrijk signaal uit de ruimte ons nog nauwelijks kan bereiken, namelijk het H-alfa-waterstofsignaal. Het meeste van het rode H-alfa signaal wordt zodanig door dit filter afgezwakt dat er nauwelijks nog iets van overblijft op de deep-sky opname.

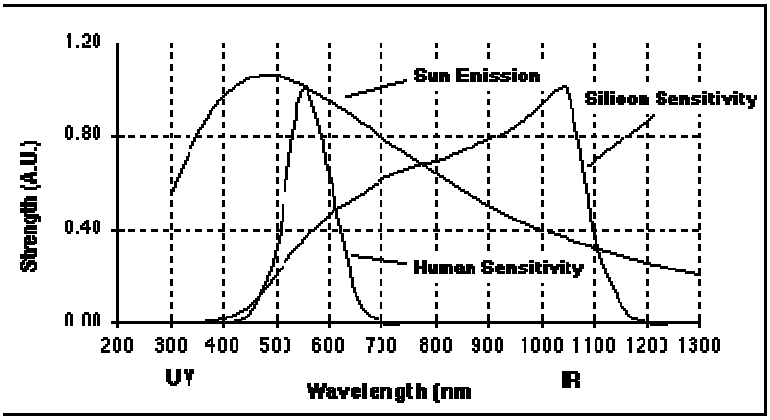


Figure 12 De spectrale gevoeligheid van halfgeleidermateriaal.

Een detector in een digitale camera maakt gebruik van silicium, dit is een halfgeleidermateriaal. Silicium is vooral gevoelig in het Infrarood (zie de curve "Silicon Sensitivity"). Om deze (over)gevoeligheid wat in toom te houden monteert men voor de detector een IR-filter.
Bron: http://www.maxmax.com/camera_technical.htm .

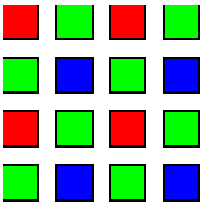


Figure 13 Het Bayer masker.

Halfgeleidermateriaal is in principe gevoelig voor een hele reeks kleuren. Dit bleek al door de voorgaande curve. Ze wordt echter gevoelig gemaakt voor één bepaalde kleursoort (Rood, Groen of Blauw) door er bovenop een kleurenfilter op aan te brengen. Per 2 x 2 beeldelementen, komen er 2 groenpixels, één rood en één blauwpixel voor. Zo'n patroon noemen we een Bayer-patroon. Omzeggens alle digitale camera's gebruiken een dergelijk Bayer-masker om kleuren samen te stellen.

Daarom is het best om voor een speciale versie van dergelijke digitale reflexcamera's te opteren. Er zijn hierbij een aantal mogelijkheden. CANON kwam met een speciale versie van het EOS-20D toestel uit, namelijk de EOS-20Da[16]. Deze heeft een ander filter dat nog wel een behoorlijk deel van dit H-alfa-licht doorlaat (69% om precies te zijn). Een andere mogelijkheid is, voor de handige Harry's onder ons, het toestel openwerken en dit filter gewoon zelf verwijderen[17]. Er bestaan diverse websites waar je de uitleg vindt over hoe je dit moet doen. Ben je bang om dit te doen, dan kun je terecht bij firma's die bijv. een standaard EOS-10D of EOS-20D toestel voor jou ombouwen.[18]

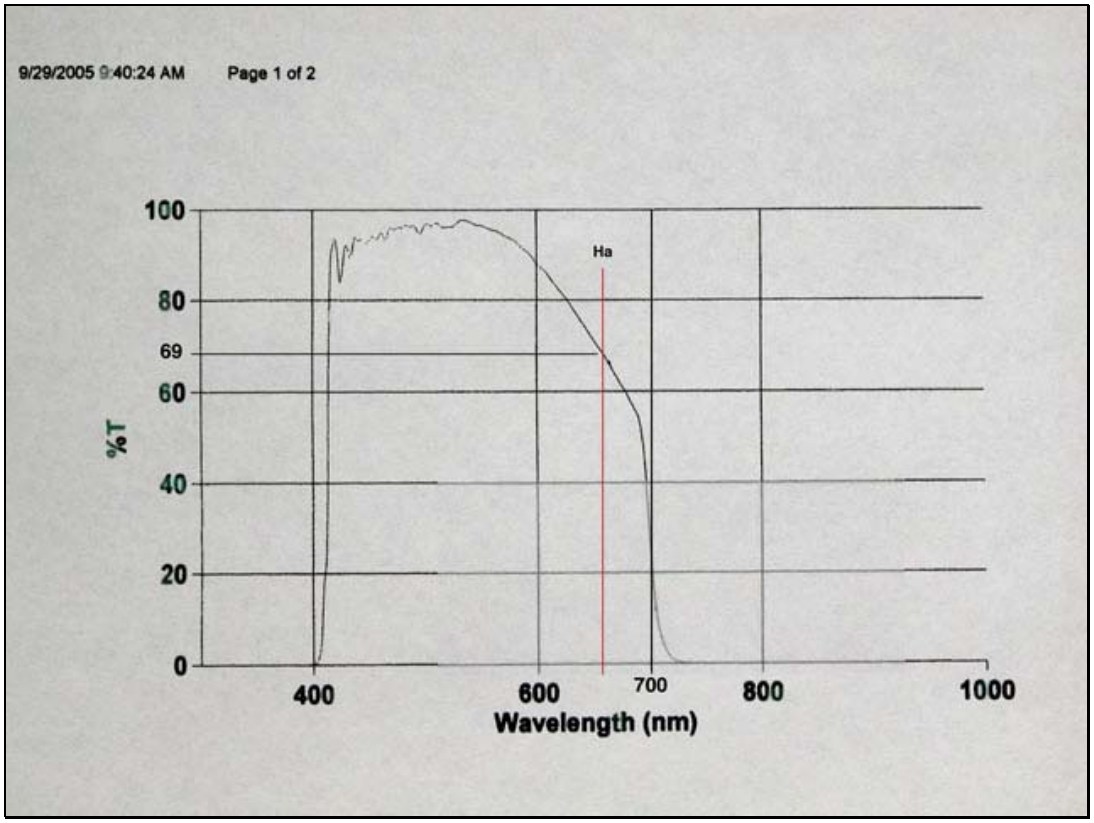


Figure 14 De verbeterde doorlaatcurve van de CANON EOS-20Da.

De curve maakt duidelijk wat er is gebeurd bij de CANON EOS-20Da. Doordat silicium zo IR gevoelig is, moet men nog steeds er voor zorgen dat alle IR-golflengtes zoveel als mogelijk is worden onderdrukt. In tegenstelling tot een gewone EOS-20D gaat de curve hier pas sterk naar omlaag nà de 656 namometer lijn van waterstof. Een CANON EOS-20Da filter laat zo'n 69% door van H-alfa. Opgepast: dit betekent dus nog niet dat 69% van alle H-alfa licht wordt gedetecteerd en vastgelegd door de detector, we spreken hier enkel van de doorlaat van het filter voor de detector. Bron: privé correspondentie met Chuck Vaughn. De metingen gebeurden aan de hand van een filter dat werd gedemonteerd uit een CANON EOS-20Da en uitgemeten met een fotospectrometer op het Lawrance Livermore National Labs.

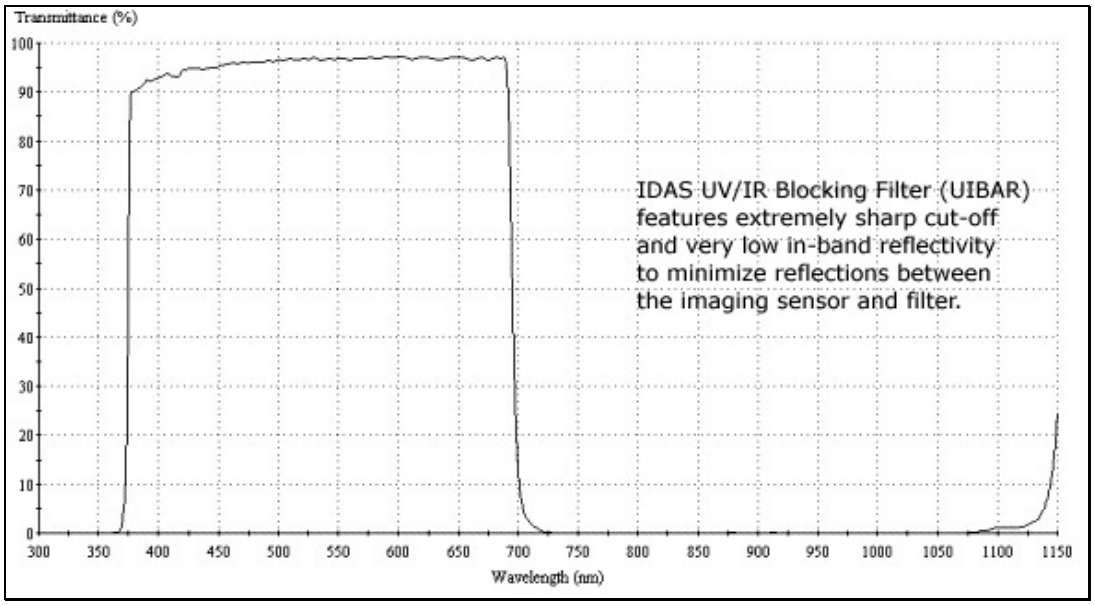


Figure 15 De doorlaatcurve van een IDAS UV/IR blokkeerfilter.

Een IDAS UV/IR blokkeerfilter, dat door Hutech kan worden geinstalleerd in een CANON EOS camera, laat minstens 95% door in een golflengtebereik van 425 tot 675 nanometer. Dat is dus significant beter dan een CANON EOS-20Da, alhoewel deze laatste meyt zijn 69% doorlaat uiteraard nog steeds heel behoorlijk scoort. Bron: http://www.sciencecenter.net/hutech/idas/uibar.jpg .

Wil je een gemodificeerde EOS nog gebruiken voor gewone dagfotografie, en je neemt geen bepaalde maatregelen, dan kun je wel geconfronteerd worden met een aantal neveneffecten. In een EOS camera bestaat het filter voor de detector ook uit een anti-aliasing filter. Heb je dit filter verwijderd, dan kunnen moiré effecten optreden. Ook kan het zijn dat door overmatige IR-straling de rode kleuren wat verkeerd zullen worden weergegeven. Bij dagfotografie zul je dan best nog een IR-blokkeerfilter gebruiken. Die kan bijvoorbeeld op de verwisselbare lens worden geschroefd. Eventueel kan ook een gespecialiseerd filter gebruiken die je tussen de spiegel en de achterwand van de lens plaatst.



Figure 16 De CANON EOS-20Da is een veelzijdige digitale astrocamera.

Halfweg 2005 kwam CANON uit met een speciale astrofotografieversie van hun EOS-20D toestel, de EOS-20Da. Deze camera heeft een breder golflengtebereik (laat meer H-alfalicht door), geeft directe videofeedback wat de scherpstelling vergemakkelijkt en kan toch nog verder perfect voor dagfotografie worden ingezet. Hier zien we zo'n CANON EOS-20Da met CANON EF 70-200 f/2.8 L lens via Losmandy zwaluwstaartverbindingsstukken geplaatst op een Astro-Physics 900 GTO montering. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

1.13. Over het verschil tussen een digitale camera en een CCD

Vroeger waren een twee kampen in de digitale astrofotografiewereld. We zouden kunnen zeggen : de 'CMOS believers' en de 'CMOS non-believers'. Deze sectie heeft als bedoeling om een aantal beweringen gemaakt door mensen uit de beide kampen even te nuanceren. Zoals met vele zaken in de wereld ligt de waarheid meestal wel ergens middenin te vinden.

1.13.1. Ruis

Vele CCD-bezitters dachten dat de digitale camera's nooit het niveau zouden bereiken van de CCD's. Een eerste denkfout die er werd gemaakt is dat men dacht dat men de ruis, die zo typisch was voor de CMOS-technologie, nooit zou onder controle krijgen. Dit was dan wel buiten CANON gerekend die nog in Augustus 2004 een prijs won van de meest innovatieve CMOS sensortechnologie met haar EOS-10D [19]. CANON gebruikt een heel specifiek productieproces voor de de CMOS sensor en ontwierp een heel nieuw versterkerscircuit om de SNR serieus op te krikken. Intussentijd is er zelfs al een tweede generatie van deze sensors op de markt die er voor zorgt dat de vaste patroonruis in sterke mate onderdrukt. Meer over dit alles vind je op het Internet[20]. De vooruitgang in de beheersing van de ruis is objectief door iedereen te constateren (zie onder andere de grafieken in de referentiesectie in deze tekst over de ruis in de EOS-10D, EOS-20D en EOS-1D II).
Misschien moeten we hier toch ook nog eventjes vermelden dat sommige digitale camera's geen CMOS-technologie, maar ook CCD's gebruiken (bijvoorbeeld de Nikon D70 gebruikt CCD technologie). Om de beste resultaten te bekomen moeten zowel de CCD- als de CMOS-camera's gekoeld worden. Dit is dan ook nog hét aandachtspunt voor de gewone digitale camera's; de CCD-gebaseerde astrocamera's worden immers al altijd gekoeld. Maar niks weerhoudt er ons van om ook een CMOS-gebaseerde camera te koelen. Sommige digitale camera bezitters doen dit al met succes[21]. We gaan hier later verder nader op in en geven dan concrete tips.

1.13.2. Digitalisatieniveau's

Een tweede fout die men dikwijls maakt is te denken dat digitale camera's minderwaardig zijn omdat ze maar een beperkt aantal niveau's ondersteunen. Vooreerst is de tijd dat er enkel 8-bits digitale camera's bestonden voorbij, en wordt er bij de betere camera's gewerkt ook al gewerkt op 12-bits. Dus is er al een heel stuk van de kloof met de 16-bit CCD camera's overbrugd.

1.13.3. Full well capaciteit

Een andere issue is deze van de full well capaciteit. Welnu, diverse digitale camera's hebben al een hogere full well capaciteit dan sommige CCD's en kunnen dus intrinsiek een betere SNR opleveren. Een overzicht van deze full well capaciteiten kan men terugvinden in de tabellen verder in deze tekst.

1.13.4. Kostprijs

CMOS technologie is een goedkopere technologie dan CCD's. Voor relatief weinig geld kan men dus grotere chips in grotere oplages maken (vergeet niet dat CMOS technologie ook wordt gebruikt in onze computers ; men is dus gewoon om met deze technologie in grote kwantiteiten en goede kwaliteit te werken). Grotere chips betekenen grotere beeldvelden. Werk je met een CMOS gebaseerde digitale camera dan bekom je vrij goedkoop grote(re) beeldvelden. In feite moet je stellen dat waar de prijs van de instapmodellen van digitale reflexcamera's eindigt (een CANON EOS-20Da kost bijvoorbeeld rond de 2100 euro), de prijs van de peltier-gekoelde CCD astrocamera's beginnen. Een full frame EOS-5D kost minder dan de helft van een gekoelde SBIG STL-11000 full frame CCD-camera.

1.13.5. Scheidend vermogen

Nog een ander punt van aandacht is dat van het scheidend vermogen (ook nog *resolutie* genoemd). Meestal wordt door CCD bezitters geargumenteerd dat de digitale camera's minderwaardig zijn qua resolutie omdat er wordt gebruik gemaakt van een kleurenmasker (het zogeheten *Bayer grid*). Dit is uiteraard nonsens om dit "zomaar" te poneren. Natuurlijk is het zo dat wanneer je een monochrome chip vergelijkt met dezelfde chip met een Bayer-masker er over heen gelegd, je een vermindering van resolutie krijgt. Dat is uiteraard al iets helemaal anders dan beweren dat een CCD scherper zou fotograferen dan een CMOS. In principe verwarren een aantal mensen twee zaken: CCD's associeert men nu eenmaal met monochrome chips en digitale camera's met Bayer-maskers. Echter, er bestaan evenzeer CCD's met Bayer-maskers. Hoeveel de verminderde resolutie door het gebruik van zo'n kleurenmasker bedraagt is momenteel nog onder discussie, want er spelen diverse factoren hierbij een rol. Deze discussie gaan we in deze tekst nu niet verder houden want ze zou ons té ver leiden. Eén zaak willen we hier toch al vermelden precies omdat ze zo'n grote rol speelt: een monochrome CCD-chip met grote pixels kan qua resolutie minder scoren dan een Bayer CMOS-camera met kleine pixels. Dit zijn de naakte feiten.
Sowieso, los van deze discussie nu, je kunt uit gelijk welke camera het maximum van resolutie van het optische systeem halen (zeg maar telelens of telescoop) als je maar voldoende uitvergroot (we noemen dit het *matchen* van de detector aan het optische systeem). Bij een gelijke pixelgrootte (let op deze voorwaarde!) zul je bij een kleuren-CMOS, in vergelijking met een monochrome CCD, wel meer moeten uitvergroten om eenzelfde resolutie te bekomen. Echter, je hebt meestal een véél grotere chip in vergelijking met een CCD, zodanig dat je wel eens tot de conclusie kunt komen dat de resolutie van een CMOS-opname wel eens groter kan zijn dan bij de CCD.
Dit alles enkel en alleen maar om aan te geven dat het allemaal nog niet zo zwart/wit moet worden bekeken als de traditionele CCD-astrofotografen het (nog) wel eens durven voorstellen. Om deze paragraaf te eindigen illustreren we met recente astrofoto's hetgeen net werd uitgelegd, namelijk dat je met een Bayer-CMOS met kleinere pixel even goed kunt scoren qua resolutie als met een monochrome-CCD met grotere pixel.



Figure 17 Vergelijking van de resolutie van een SBIG STL-11000 en een CANON EOS-20Da opname.

De eerste opname is een deel van een M31 opname gemaakt door Karel Teuwen op 30 Oktober 2005 te Talma, Grandpré, Frankrijk (152 f/8 TMB, SBIG STL-11000 CCD, Micron montering). De tweede opname werd door Philippe Vercoutter gemaakt vanuit dezelfde lokatie en hetzelfde tijdstip (155 f/7 Astro-Physics, Astro-Physics 900 GTO montering, CANON EOS-20Da). De EOS-20Da opname scoort minstens, zoniet zelfs nog ietsjes beter, qua resolutie. Het is juist om te stellen dat het gebruik van een Bayer grid kan leiden tot een mindere resolutie, maar anderzijds wordt de resolutie ook positief beinvloed door de veel kleinere pixels van de CANON EOS-20Da (6,4 micron versus 9 micron van de SBIG STL-11000) en het aanwenden van goede interpolatietechnieken waardoor ontbrekende kleurpixels toch behoorlijk goed kunnen worden geherconstrueerd.

1.13.6. Snelle fenomenen

Een punt waar de digitale camera ook beter scoort dan de CCD is bij fenomenen die zich tamelijk snel afspelen. Probeer maar eens een deftige kleurenopname van een komeet te maken met een CCD (tenzij je een kleuren-CCD gebruikt). Eerst mag je in het rood fotograferen, intussentijd is de komeet verder opgeschoven, het groenfilter moet worden geactiveerd, gefotografeerd, enz. Deze omslachtige procedure zorgt er voor dat vele kometenopnames gemaakt met monochrome CCD-camera's veelkleurige stersporen vertonen. Echt mooi kun je dat niet noemen. Er zijn nog verschillende andere situaties waar je bepaalde types van CCD-camera's bijna niet kunt gebruiken bijv. bij zonnefotografie omdat diverse van de CCD-camera's geen lage sluitersnelheden toelaten (bijvoorbeeld verschillende CCD's laten slechts sluitersnelheden tot 1/100 seconde toe; hoge(re) resolutiefotografie bij 1/4000 of 1/8000 s mag je gewoon vergeten).

1.13.7. Blooming

Tenslotte ook nog even dit: bepaalde CCD camera's zijn zo gevoelig dat ze bepaalde objecten quasi niet goed of mooi kunnen fotograferen doordat de pixels zo snel zijn opgevuld met electronen dat de overtollige electronen worden uitgesmeerd over naburige pixels (we noemen dit effect in het vakjargon *blooming*). Er bestaan wel anti-blooming CCD's, maar deze zijn dan doorgaans weer minder gevoelig. Bij CMOS kennen we het blooming fenomeen niet.

1.13.8. Reflecties

Digitale camera's maken gebruik van een zogenaamd Bayer-masker om in één keer de kleuren van een object te detecteren. Bij monochrome CCD's moet men zijn toevlucht nemen tot het gebruik van een set van kleurenfilters. Er zijn talrijke gevallen bekend waarbij deze externe kleurenfilters (samen met het interne glas dat zich net voor de CCD bevindt) zorgen voor ernstige reflectieproblemen. Lees bijvoorbeeld maar eens de interessante discussie en beschouwingen op de Astrodon website[22].

1.13.9. Algemeen besluit

Vele van de voorgaande argumenten (met uitzondering van de ruis) spreken in het voordeel van de digitale reflexcamera. Deze zaken werden echter enkel en alleen aangehaald om bepaalde beweringen geuit door fervente CCD-gebruikers wat te nuanceren. Het belangrijkste is echter dat de lezer begrijpt hoe het een en het ander echt in elkaar zit. Soms is de CCD beter, soms is de CMOS beter.
Het moet voor de lezer echter toch nog altijd duidelijk blijven dat een gekoelde 16-bits CCD-camera in het algemeen voor deep-sky doeleinden, vooral voor de lichtzwakste objecten dan, nog altijd beter zal presteren dan de beste niet-gekoelde 12-bit digitale camera. Vraag is natuurlijk of men tot twee- of driemaal zoveel wil betalen voor die extra kwaliteit. Zetten we topkwaliteit als prioriteit nummer 1, dan kies je voor een gekoelde 16-bit CCD astrocamera. Zie je prijs/kwaliteit als de hoogste prioriteit, dan kom je bij de 12-bits digitale camera's uit (al was het maar omdat je de camera ook voor gewone dagfotografie kunt gebruiken). Zowel de CCD als de niet-gekoelde camera hebben dus beiden hun eigen toepassingsgebied. Zelf gebruiken we de beide types. Het leidt echter geen twijfel dat op termijn het verschil tussen beide types van camera's irrelevant zal zijn geworden.

Samenvattend zouden we durven te stellen dat de digitale compact camera's worden gebruikt door de startende amateur-astrofotograaf, de 12-bit digitale reflextoestellen door de gevorderde astrofotograaf en de 16-bit gekoelde CCD camera's door de semi-professionele astrofotograaf.

We eindigen deze tekst met een Ishikawa-diagramma waar we een aantal zaken op een rijtje zetten. Dit diagramma kan je helpen (?) bij het maken van je keuze van een goede (astro)camera. Veel hangt af van waar je zelf de nadruk op legt: wil je topkwaliteit, wil je een oplossing die volledig autonoom van een PC kan werken, wil je een oplossing die ook dagfotografie toelaat, wil je een goede prijs/kwaliteit verhouding of is het enkel de prijs dat van belang is? Allemaal vragen waar je zelf een antwoord moet op geven.

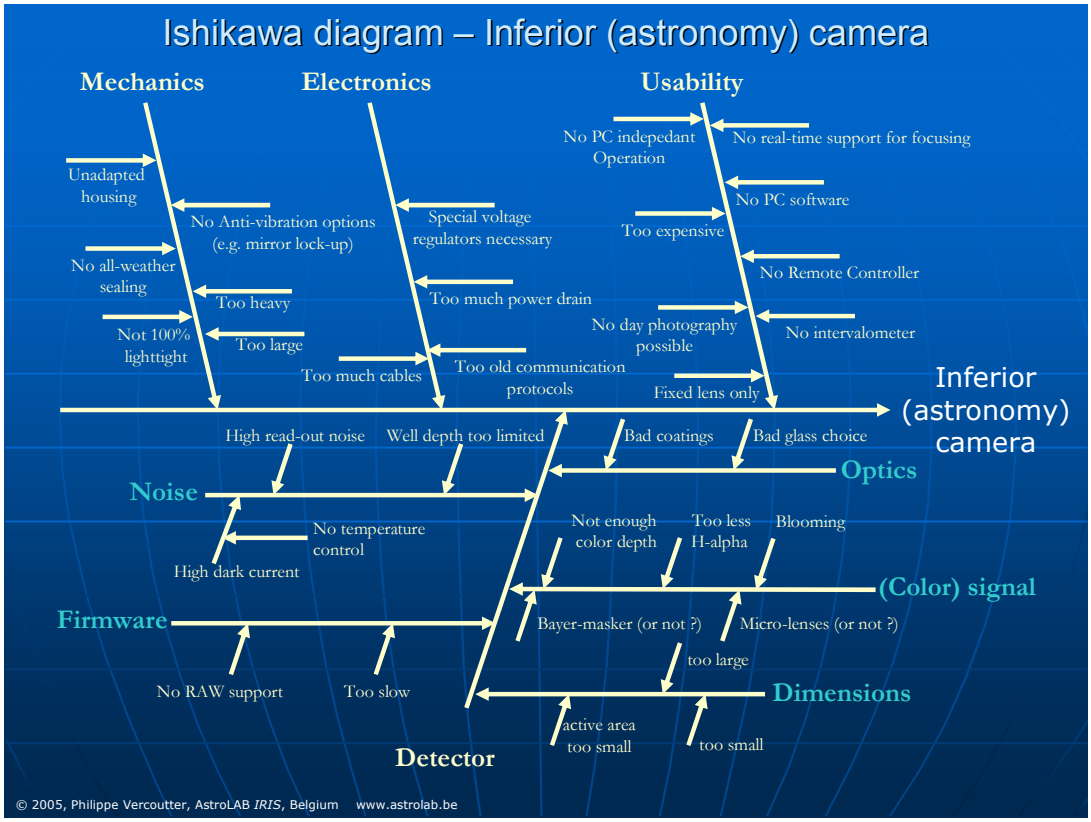


Figure 18 Factoren die een rol kunnen spelen bij de keuze van een digitale (astro)camera.

1.14. Overzicht van een aantal digitale camera's & CCD's

Merk en Type	Pixel grootte (micron)	Chip grootte (mm)	Pixels	Capa-citeit (e^-)	Read Noise 400 ASA (e^-)	Versterking 400 ASA (e^-/ADU)	Dark Current (e-/pixel/s)
CANON EOS-300D	7.4	22.7 x 15.1	3.072 x 2.048	45.500	10	2.78	0.25 (400 ASA 0°C) [23]
CANON EOS-350D	6.4	22.2 x 14.8	3.456 x 2.304				
CANON EOS-10D	7.4	22.7 x 15.1	3.072 x 2.048	44.200	14.9	2.41	
CANON EOS-20D	6.4	22.5 x 15.0	3.504 x 2.336	50.300	7.5	3.14	0.25 (1600 ASA 20°C) [24]
CANON EOS-20Da	6.4	22.5 x 15.0	3.504 x 2.336	50.000	6.83	3.08	
CANON EOS-1D II	8.2	28.7 x 19.1	3.504 x 2.336	52.300	8.9	3.3	0.3 (800 ASA 22°C) [25]
CANON EOS-5D	8.2	35.8 x 23.9	4.368 x 2.912				
Nikon D70	7.9	23.7 x 15.6	3.008 x 2.000	42.100	19	2.98	
Nikon D2Hs	9.4	23.1 x 15.1	2.464 x 1.632				
Nikon D2X	5.49	23.7 x 15.7	4.288 x 2.848				
Olympus E300	5.3	17.3 x 13.0	3.264 x 2.448				
Pentax *ist Ds	7.8	23.5 x 15.7	3.008 x 2.008				

Table 1 Overzicht van een aantal populaire digitale camera's.

De data van de pixelgrootte, chipgrootte en aantal pixels zijn afkomstig van de fabrikanten. De capaciteit, uitgedrukt in electronen per pixel (full well depth is de exacte term), uitleesruis en versterkingsfactoren van een aantal cameratypes werden experimenteel bepaald door Tam Kam-Fai, Terry Lovejoy, C. Cavadore[26], Roger N. Clark[27] en Philippe Vercoutter. Hoe groter de capaciteit en lager het ruisniveau, hoe groter het dynamisch bereik van de digitale camera. Van de geciteerde camera's scoort de CANON EOS-1D II het best hierin.

Merk en Type	Pixelgrootte (in micron)	Chip (in mm)	Pixels	Capaciteit (electronen)	Read Noise (electronen)	Dark Current (e-/pixel/s)
SBIG ST-10XME	6.8	14.9 x 10.0	2.184 x 1.472	77.000	8.8	0.5 (0°C)
SBIG STL-11000M/CM	9.0	36.0 x 24.7	4.008 x 2.672	50.000	13	0.5 (0°C)
Starlight Express SXV-H9	6.45	8.9 x 6.7	1.392 x 1.040	27.000	12	0.02
Starlight Express SXV-M25	7.8	23.4 x 15.6	3.024 x 2.016	25.000	< 12	0.02 (10°C)

Table 2 Ter vergelijking: een overzicht van een aantal populaire 16-bit CCD camera's.[28]

2. Het werken met een digitale camera

2.1. Een woordje vooraf

Om te vermijden dat dit hoofdstuk zijn eigen leven begint te leiden wil ik vooraf toch aanstippen dat het maken van astrofoto's met behulp van een digitale reflexcamera ook bijzonder éénvoudig kan. Laat je zeker niet moedeloos worden bij het doornemen van alle hier gepresenteerde technieken. Bijzonder mooie astrofoto's maken kan al door de camera op een stevig statief te plaatsen, een sensitiviteitswaarde (ISO) en tijdsduur in te stellen en af te drukken. Zo eenvoudig is het basisprincipe. Eventueel gebruik je een afstandsbediening om zeker geen trillingen door te geven aan de opstelling. Dus moeilijk kun je dit zeker niet noemen. Op deze manier kun je mooie sterrenspooropnames maken, een mooie zonsondergang of maansopkomst fotograferen, enz. Een mooie opname maken van de maan vanop statief is door de kleinere sluitersnelheden in principe ook niet zo moeilijk. Zorg er wel voor dat je de spiegel laat opklappen vooraleer je de eigenlijke foto maakt. Op een CANON EOS-camera doe je dit door het instellen van de zogeheten *Custom Functions* via een menu dat bereikbaar is via het LCD schermpje.
De rest van dit artikel handelt over allerlei aspecten die een rol spelen bij het maken van deep-sky opnames via een digitale reflexcamera. Dat er daarover veel nuttige informatie kan worden gegeven zal blijken uit de rest van ons verhaal. Mocht het een en het ander na het lezen van dit artikel toch nog niet duidelijk zijn, geen nood, contacteer ons via de coördinaten die je onderaan de tekst vindt.
Nog iets om dit 'vooraf'-woordje bij dit hoofdstuk af te sluiten: alle tips die hier worden gegeven pas je op eigen risico toe. Wij proberen zo objectief mogelijke *facts & figures* te geven, ze te duiden en daaruit conclusies te trekken. We kunnen zeker niet verantwoordelijk worden gesteld voor eventuele schade die zou kunnen voortvloeien uit het toepassen van bepaalde van onze tips en/of technieken.

2.2. Terminologie - Basisbegrippen

Jammer genoeg kan het niet anders dan dat dit deel wat technischer is willen we toch het een en het ander correct(er) en kwantitatief voorstellen. Om de pijn wat te verzachten geven we hier een overzichtje van de voornaamste termen die rond sensoren worden gebruikt.
Een veelgebruikt analogon om een sensor voor te stellen is dat van een emmertapijtje. De lichtdeeltjes, **fotonen** genoemd, worden hierbij voorgesteld als regendruppels, de emmers zijn dan de opvangeenheden, de beeldelementen. Eén zo'n beeldelement noemen we een **pixel**. In onze vergelijking komt één emmertje overeen met één pixel. Elk emmertje zal gevuld worden met regendruppels (fotonen dus).

Misschien tussendoor toch nog even deze precisering. We doen in deze vergelijking alsof de fotonen (de waterdruppels) worden opgeslagen. In de realiteit zullen de lichtdeeltjes electronen vrijmaken in het halfgeleidermateriaal. Eénmaal het foton is ingevangen, moeten we eigenlijk spreken van een electron. Het zijn electronen die zullen worden vastgehouden in één pixel.

Een sensor kun je dus vergelijken met zo'n emmertjestapijt. Omdat de emmertjes maar een beperkte capaciteit hebben (ze kunnen dus in principe overlopen), kunnen we het maar een beperkte tijd laten regenen (we stellen dus een bepaalde belichtingsduur in). Nadat deze belichtingstijd voorbij is, moeten we meten hoeveel

water er in ieder emmertje zit. We gaan daarvoor één lijntje emmers per keer uitgieten in een speciale rij aparte emmertjes (een **serieel register** genoemd). Als alles is uitgegoten in die rij emmertjes, worden de emmertjes één per één uitgegoten in een meetemmer. In de meetemmer wordt op een analoge waarde een getal geplakt. We noemen dat proces "**het digitaliseren**". Dit digitaliseren gebeurt met behulp van een **Analoog/Digitaal Convertor** (meestal afgekort als ADC). Deze digitalisatie kan minder of meer nauwkeurig gebeuren. Dure sensoren zullen een heel exacte waarde bepalen (van de inhoud van de emmer dus), de goedkopere zullen wat meer benaderen. Sommige sensoren kunnen 256 mogelijke waardes onderscheiden, anderen dan weer 4096 ofwel 65536 waardes.

Als alle emmertjes van één rij zijn opgemeten (de pixelwaardes zijn bepaald), wordt het gehele tapijtje één positie doorgeschoven en kan de volgende rij worden uitgemeten. Op een dergelijke manier werkt een sensor.

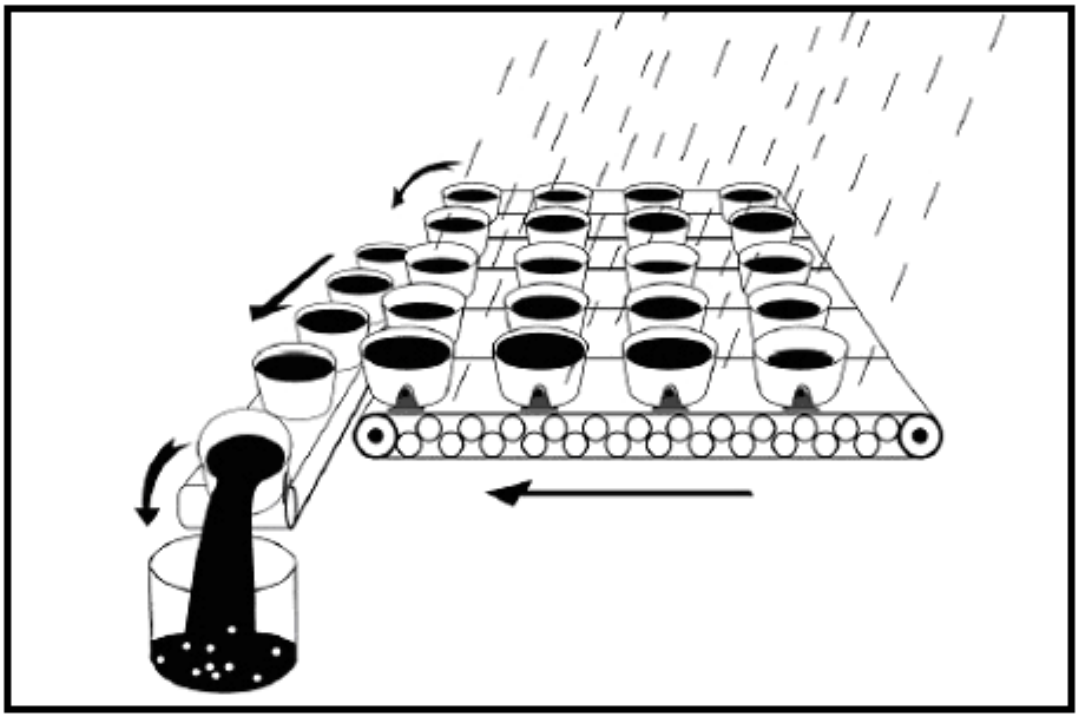


Figure 19 Een emmertapijt op transportband en regen als analogon voor een sensor en een fotonenstroom.

Bron: http://www.astro.helsinki.fi/opetus/kurssit/ccd/CCD_details1.pdf

De lezer zal inzien dat wanneer een emmertje wordt uitgekieperd deze nooit echt leeg zal zijn. Er zullen altijd wel wat druppeltjes in blijven zitten. Deze druppeltjes kunnen we als **ruis** aanzien aangezien ze deze en de volgende meting zullen vervalsen: bij de volgende meting zullen we namelijk niet de nieuwe regenintensiteit meten (wat we uiteindelijk willen), maar wel deze intensiteit verhoogd met die paar overblijvende druppeltjes van de vorige keer. Ook de huidige meting zal niet correct zijn aangezien er een aantal druppeltjes te weinig zullen gemeten worden. Er zal dus een fout zitten in de meting.

In de praktijk zullen de emmertjes ook nog worden gevuld met wat extra water. Dat extra water, die de meting ook negatief zal beïnvloeden, is proportioneel met de

temperatuur: hoe warmer, hoe meer water niet afkomstig van de regen er in de emmertjes spontaan (en totaal ongewild) zullen bijkomen. In electronicatermen uitgedrukt spreken we van **thermische electronen**: hoe warmer het is, hoe meer zo'n ongewilde electronen in de pixels zullen voorkomen en de meting van de fotonenstroom vervalsen.

Sensoren verschillen onderling van elkaar door volgende eigenschappen:

1) het aantal beeldelementen (= aantal rijen x aantal kolommen van de matrix);
2) de grootte van een beeldelement (5, 7, 9 μm bijvoorbeeld);
3) de capaciteit van een beeldelement (dit wil zeggen: hoeveel fotonen er kunnen worden opgeslagen per pixel; dit noemen we **full well capacity**, afgekort als **FWC**);
4) **Blooming** of **Anti-Blooming** (aangeduid door **ABG**): wat gebeurt er als er téveel fotonen worden gecapteerd: lopen die over in de aangrenzende pixels (dit fenomeen noemen we **Blooming**), of worden die door een speciaal circuit afgevoerd (**Anti-Blooming** faciliteit);
5) de efficiëntie waarmee fotonen effectief worden omgezet in electronen; we noemen dit de **Quantum-efficientie** (afgekort als **QE** - als de QE 100% is zouden alle fotonen aanleiding geven tot een electron, wat in de praktijk nooit het geval is).
6) de ruis die ze genereren;
7) de spectrale gevoeligheid van de chip.

2.3. Een globaal overzicht

Laat ons maar direct met de deur in huis vallen. Een goede deep-sky foto wordt in grote mate bepaald door volgende criteria : compositie, kleuren (balans, saturatie), helderheden en contrast, uniformheid van de achtergrond (afwezigheden van gradiënten), resolutie, … én een goede signaal/ruis verhouding (*SNR – Signal Noise Ratio*). Omzeggens de rest van dit artikel zal vooral inzoomen op deze verhouding. Immers, is deze verhouding goed, dan heb je heel wat marge om de foto te bewerken en kleuren, helderheden, enz. bij te stellen. Is de SNR eerder aan de lage kant, dan wordt het moeilijk, zo niet totaal onmogelijk, om de foto nog goed te krijgen door digitale nabewerking.
Bekijken we de signaal-ruis-verhouding, dan merken we hierin twee delen op : het signaal (die we moeten maximaliseren) en de ruis (die we uiteraard moeten minimaliseren).
Onderstaande figuren geven een totaaloverzicht van welke technieken er allemaal bestaan om hieraan tegemoet te komen. In dit hoofdstuk gaan we ze één voor één overlopen, uitleggen en er achtergrondinformatie bijgeven. Deze achtergrondinformatie is heel belangrijk omdat het uiteindelijk de astrofotograaf zelf is die zal moeten beslissen of hij een bepaalde techniek zal gebruiken of niet. Zoals veelal het geval is met technologie, heeft alles zijn voor- en zijn nadelen. De voorgestelde technieken kunnen daarom in bepaalde omstandigheden meer of minder aangewezen zijn.

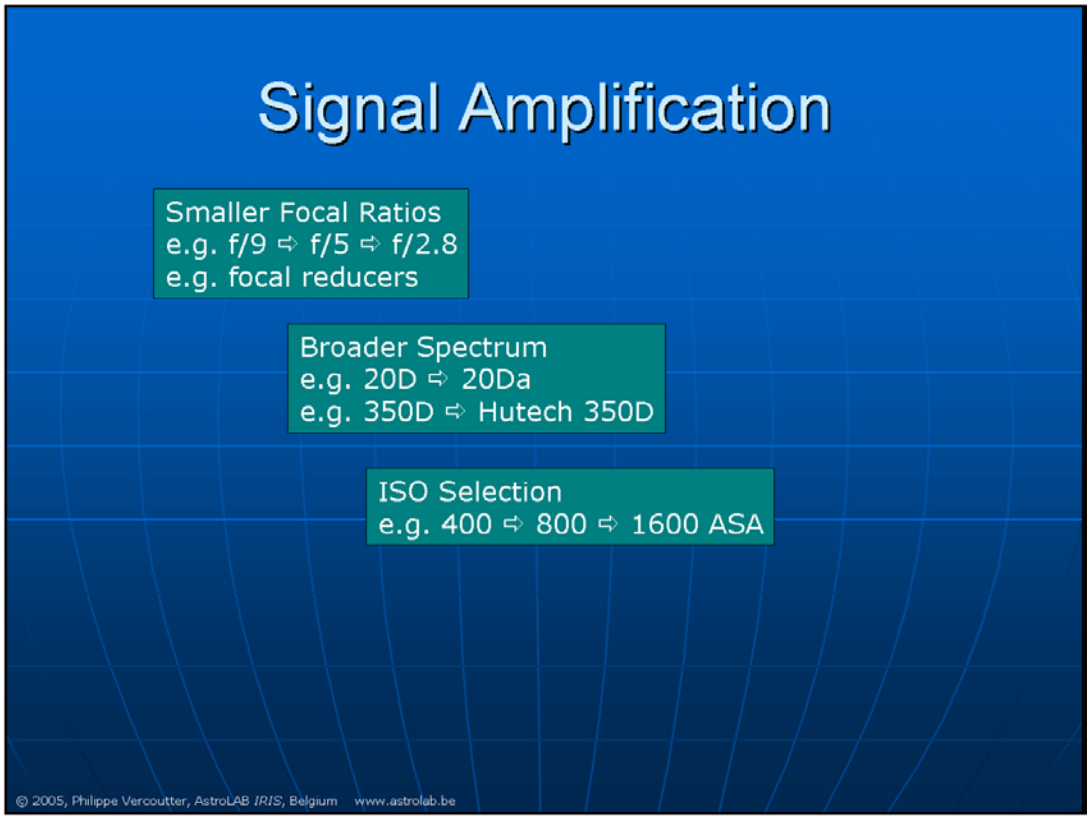


Figure 20 Overzicht van technieken die bestaan om het signaal zo sterk mogelijk te krijgen.

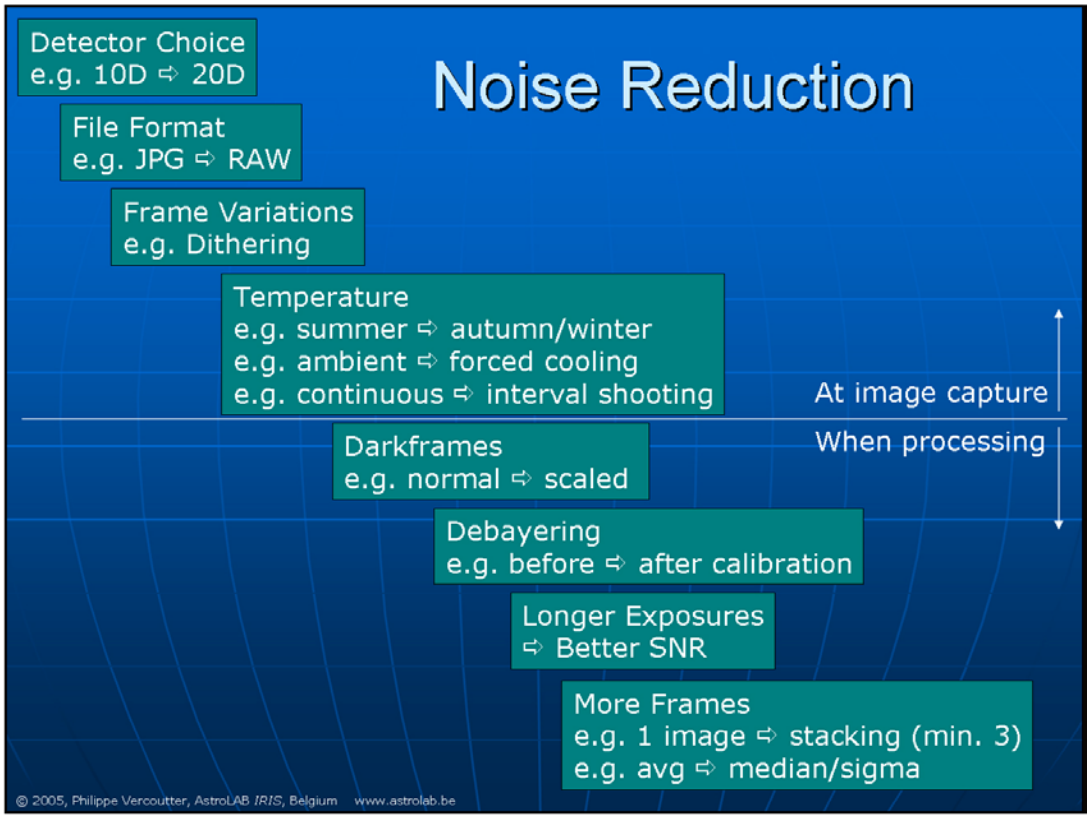


Figure 21 Overzicht van technieken die bestaan om ruis zoveel mogelijk te vermijden of weg te werken.

2.4. Technieken om het signaal te maximaliseren

2.4.1. Gebruik van lichtsterke lenzen of kijkers

Bij digitale camera's is het credo om op zo kort mogelijke tijd zoveel mogelijk signaal binnen te halen. Immers, zoals we zullen zien heeft de oplopende temperatuur van de CMOS en zijn onmiddellijke omgeving als gevolg een toenemende ruis. Vanzelfsprekend kan wel veel van die ruis middels de juiste technieken worden weggewerkt, maar vermijden is de boodschap indien mogelijk. Voor uitgestrekte objecten, en daar vallen zowat alle nevels en melkwegstelsels onder is de registratie ervan verbonden met de openingsverhouding van de gebruikte lens of telescoop. De boodschap is dus om indien mogelijk liever met een 20cm f/4 kijker te gaan werken dan met een 20cm f/8. Of liever met een 200mm f/2.8 als met een 200mm f/5.6.

Uiteraard stellen snelle optische systemen veel hogere eisen aan de kwaliteit dan tragere systemen. Aberraties (afwijkingen) komen vlug om de hoek kijken. Voor de betere kwaliteit gebruik je een Newton telescoop daarom zeker met een coma corrector (cfr de Celestron MPCC coma corrector die qua prijs-kwaliteit heel goed te noemen is). Voor APO refractoren levert de fabrikant vaak op het systeem afgestelde reducer-correctors. In sommige gevallen kan je echter correctoren van een ander merk gebruiken op je kijker. Zo werkt de Televue 0.8x reducer-corrector perfect op een TMB 80mm f/6. Of de AP 0.75 reducer-corrector op de TMB 105mm f/6 of 150mm f/8, enz. Belangrijk hier is om te rade te gaan bij andere gebruikers of Internet om ervaringen met bepaalde systemen op te doen.

Qua tele-optiek zijn er helaas erg weinig die bij volle opening volledig renderen. Een van de uitzonderingen die we al tegengekomen zijn is de CANON 200mm L f/2.8 Type I USM, die zelfs bij volle opening op een CANON EOS-350D of EOS-20D nagenoeg perfect scoort.

CANON laat ook toe om NIKON, Leica of zelfs Contax Zeiss lenzen te gebruiken met behulp van een adapter. De Contax Zeiss lenzen scoren bijzonder goed qua scherpte, vaak beter dan de vergelijkbare CANON of Nikkor lenzen. Mits een beetje uitkijken kunnen ze nog budgetvriendelijk gevonden worden tweedehands.

2.4.2. Maximaliseren van de bandbreedte

Een van de nadelen van standaard digitale reflexcameras is de hotmirror – het filter geplaatst voor de CMOS of CCD die als doel heeft UV en IR golflengtes te blokkeren vooraleer ze scherpte en kleurbalans verstoren. Jammer genoeg heeft dit een groot nadeel voor deep-sky astrofotografie. De zo belangrijke H-alfa golflengte wordt voor een groot stuk tegengehouden. Dit veroorzaakt een veel te lage gevoeligheid in H-alpha, waardoor die gebieden nauwelijks registreren, en indien ze toch registreren duidelijk onderhevig zijn aan een kleurshifting naar roze of zelfs blauw.

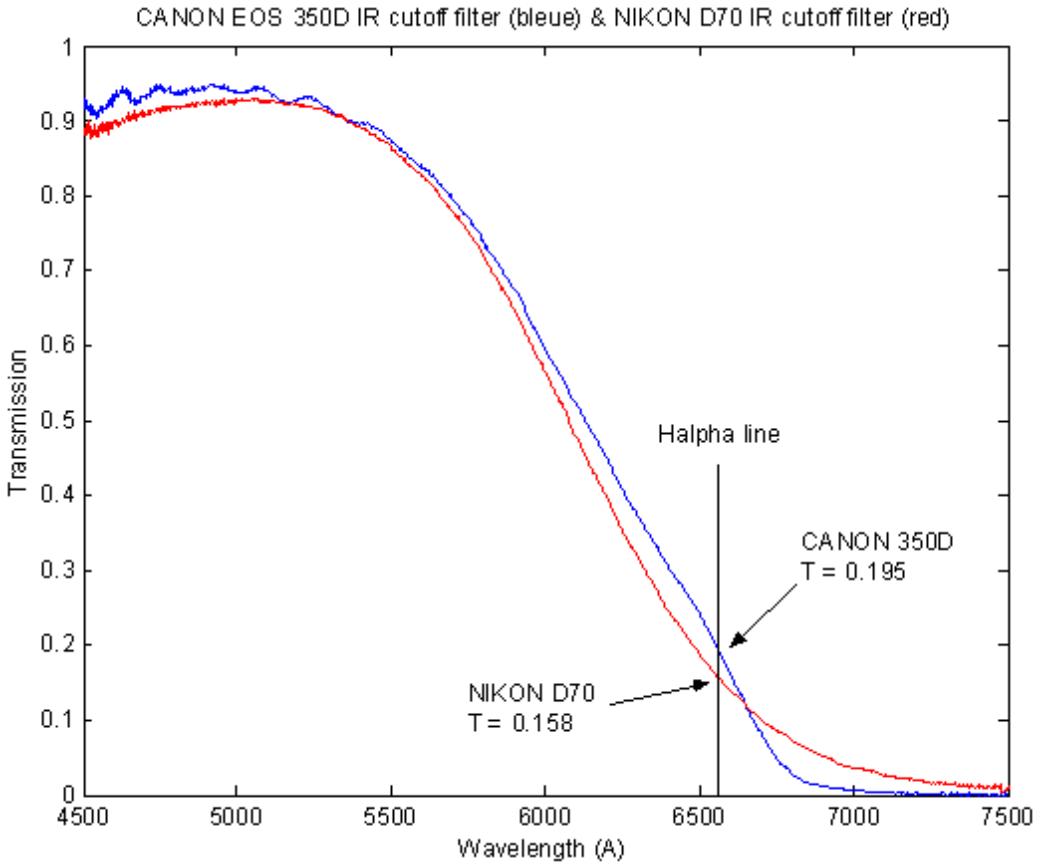


Figure 22 Doorlaatcurve van een standaard CANON EOS-350D en Nikon D70 camera.

© Christian Buil, France (http://www.astrosurf.org/buil/350d/350d.htm).

Om dit te omzeilen zijn er drastische middelen nodig. Je kan zelf – als je handig bent met fijne technologie – het filter verwijderen uit de camera, of vervangen door een alternatieve UV-IR blocking filter die toch de H-alfa golflengte beter doorlaat. Het zou ons te ver leiden om dit in detail te bespreken, informatie is genoeg te vinden op Internet. De NIKON D70 is een van de meest eenvoudige cameras om zelf te modifieren (maar heeft nadelen die U zich kan herinneren uit het eerste hoofdstuk). EOS cameras zijn veel moeilijker aan te passen en vragen vaak soldeerwerk op delicate onderdelen.

Het spreekt vanzelf dat elke eigen modificatie van de camera op eigen risico gebeurt, en de garantie van de fabrikant onherroepelijk verbreekt. Nu, tweedehands DSLRs worden elk jaar goedkoper en je kan het risico beperken door gebruik te maken van zo'n tweedehandssysteem.

Voor minder handige mensen onder ons bestaan er gelukkig alternatieven, zij het iets duurder. CANON heeft een EOS-20Da op de markt gebracht, met de "a" voor astronomy. Het is een camera die nog goed voor daglicht is te gebruiken, maar toch meer rood en met name H-alpha doorlaat. Men spreekt van een winst van 2.5x de gevoeligheid van een standaard EOS-20D. Daarnaast leveren bepaalde fabrikanten (bv Hutech) gemodifieerde cameras die nog meer H-alpha doorlaten, en die door middel van extra voorzetfilters toch nog voor daglicht gebruikt kunnen worden. Vaak dien je ook de witbalans van de camera te calibreren voor echt aanvaardbaar daglichtgebruik.

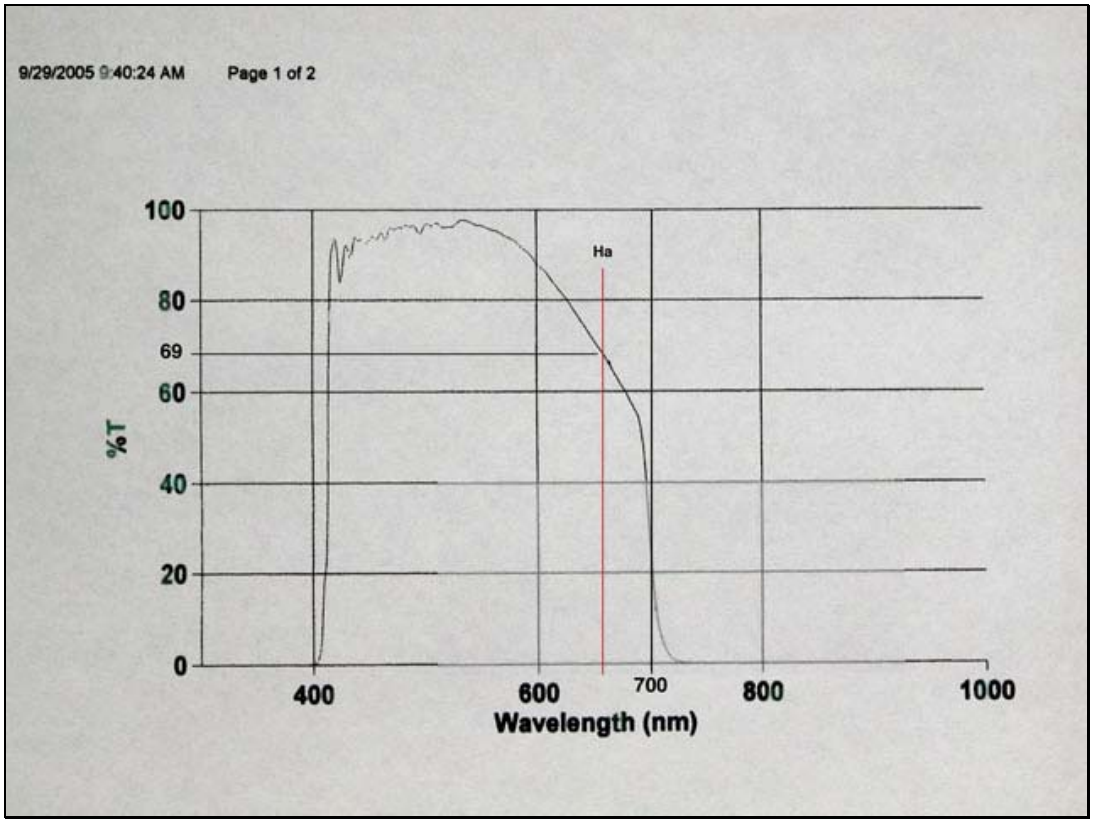


Figure 23 De verbeterde doorlaatcurve van de CANON EOS-20Da.

De curve maakt duidelijk wat er is gebeurd bij de CANON EOS-20Da. Doordat silicium zo IR gevoelig is, moet men nog steeds er voor zorgen dat alle IR-golflengtes zoveel als mogelijk is worden onderdrukt. In tegenstelling tot een gewone EOS-20D gaat de curve hier pas sterk naar omlaag nà de 656 namometer lijn van waterstof. Een CANON EOS-20Da filter laat zo'n 69% door van H-alfa. Opgepast: dit betekent dus nog niet dat 69% van alle H-alfa licht wordt gedetecteerd en vastgelegd door de detector, we spreken hier enkel van de doorlaat van het filter voor de detector. Bron: privé correspondentie met Chuck Vaughn. De metingen gebeurden aan de hand van een filter dat werd gedemonteerd uit een CANON EOS-20Da en uitgemeten met een fotospectrometer op het Lawrance Livermore National Labs.

2.4.3. Gebruik van aangepaste ISO waarde

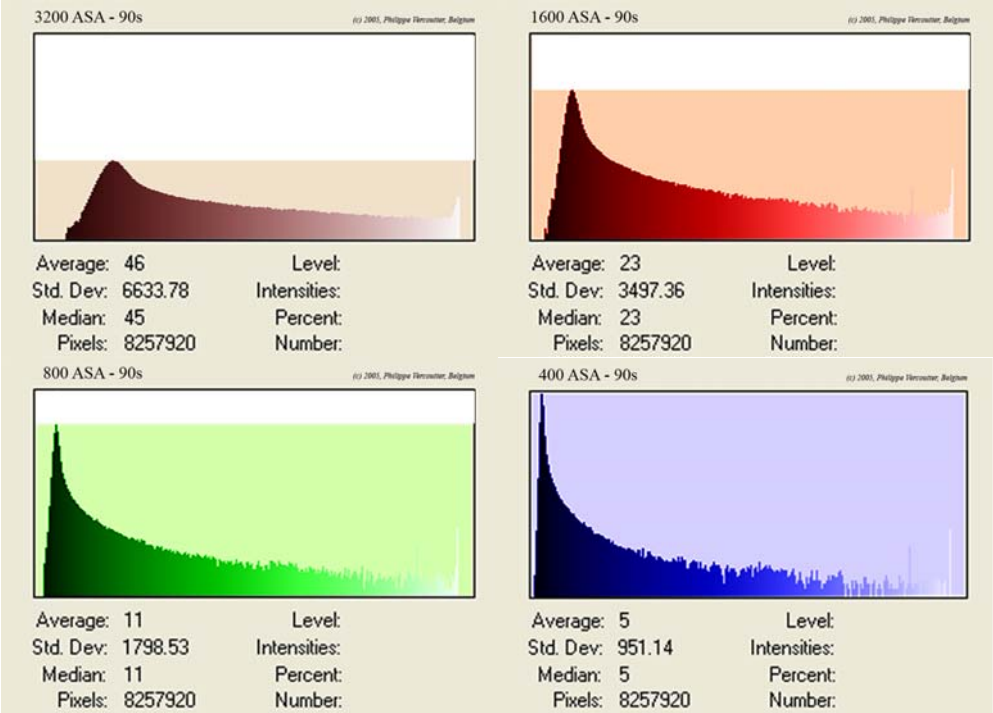
Bij de digitale camera's kun je, naar analogie met het gebruik van film in de klassieke fototoestellen, een lichtgevoeligheidswaarde (een ISO of ASA waarde) instellen. In principe kun je kiezen uit een hele reeks van voorgedefinieerde waardes die meestal tussen de 100 à 1600 ASA liggen. De betere digitale camera laat ook een extra lage of extra hoge waarde toe (respectievelijk 50 of 3200 ASA).

Dé vraag waar we nu mee zitten is natuurlijk '*Welke ISO waarde moeten we kiezen om aan deep-sky te kunnen doen?*'. Deze vraag is niet zomaar gemakkelijk te beantwoorden. In principe zouden we kunnen stellen: kies voor een zo hoog mogelijke ISO waarde, dan zullen de meest lichtzwakke delen van een hemelobject ook worden geregistreerd. Welnu, het is precies ook bij deze hoge ISO-waardes dat men de hoogste ruiswaarden registreert, iets wat we natuurlijk wensen te vermijden. Verlagen we de ISO-waarde, dan is er wel minder ruis, maar wordt er ook minder signaal opgetekend. Vergeet immers niet dat wanneer we bijvoorbeeld één opname van 1 minuut maken op 1600 ASA, we al 2 minuten moeten fotograferen bij 800 ASA om hetzelfde signaalsterkte te bereiken en al wel 4 minuten bij 400 ASA. Het vraagstuk wordt dus herleid tot het maken van een vergelijking van de ruisgeneratie bij diverse ISO-instellingen en dit voor verschillende belichtingsduren.

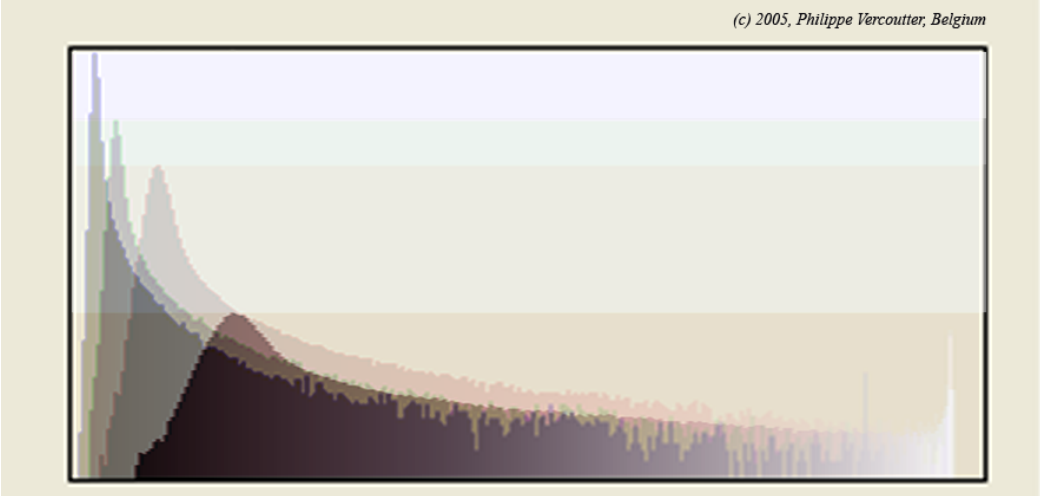
Er is echter nog iets anders. We willen zo dynamisch, contrastrijk mogelijke beelden maken. Wat je moet weten is dat wanneer je kiest voor een andere ISO instelling, je ook een andere dynamiek van de opname krijgt. De contrastrijkste opnames krijg je bij de laagste ISO waarden. Naarmate je voor hogere ISO waarden kiest, daalt ook de dynamiek van de opname. Laten we even kijken wat er met het histogram gebeurt van een M31 opname gemaakt bij 400, 800, 1600 en 3200 ASA.

Het dynamisch vermogen van een bepaalde ISO-instelling kun je het inschatten door het verschil te maken tussen de hoogste waarde van de grafiek (de piek links) en de laagste waarde (net voor de rechtste piek). Hoe groter dit verschil, des te groter het dynamisch bereik. We zetten hieronder deze beide waardes voor de diverse ISO instellingen van onze M31 testopnames weer en berekenen hieruit een relatief dynamisch vermogen van de opname.

ISO (ASA)	Gemiddelde	Minimum (aantal pixels)	Maximum (aantal pixels)	Dynamiek
3200	46	40	880.000	22.000
1600	23	13	1.700.000	130.000
800	11	5	1.900.000	380.000
400	5	2	2.300.000	1.150.000



Of met alle histogrammen op elkaar geplaatst:



Wat leren we uit deze grafieken ?

a) dat bij de 3200 ASA stand de dynamiek bijzonder laag is;
b) dat de beste dynamiek wordt bereikt bij 400 ASA;
c) dat de curves van de 800 en 1600 ASA er alle twee behoorlijk uitzien; de 400 ASA grafiek daarentegen ziet er behoorlijk donker uit (de piek ligt wel zéér naar links wat er kan er op wijzen dat er bijna geen signaal meer wordt opgenomen en resulteert in een quasi perfect zwarte opname).

Laten we DDP, dit is een speciale digitale techniek om foto's te ontwikkelen, (op dezelfde manier ingesteld) los op deze opnames, en bekijken we dan de dynamiek van die *bewerkte* opnames, dan kunnen we opmerken dat ze ongeveer allemaal dezelfde

waarde hebben. Enkel de 3200 ASA opname scoort hier slecht : we bekomen een waarde die de helft is van de grootteordes van de 400, 800 of 1600 ASA testopnames.

ISO (ASA)	Minimum (aantal pixels)	Maximum (aantal pixels)	Dynamiek
3200	300	160.000	533
1600	150	150.000	1.000
800	100	110.000	1.100
400	120	110.000	916

Table 3 Dynamiek van de opnames na toepassen van (Auto) DDP.

Deze tabel geeft een overzicht van de piekwaarde en minimumwaarde opgemeten in een M31 opnames met diverse ISO-instellingen nà het toepassen van een Auto DDP in ImagesPlus 2.75 beta (background weight = 0.80). We zien dat de 400, 800 en 1600 ASA ongeveer dezelfde waarde van 1000 geven, terwijl dit voor de 3200 ASA ongeveer maar de helft is. Daarom is 3200 ASA, vanuit dynamiek standpunt gezien, niet de eerste keuze om deep-sky opnames te maken.

Laten we nu even de ruis bekijken voor diverse ISO-instellingen.

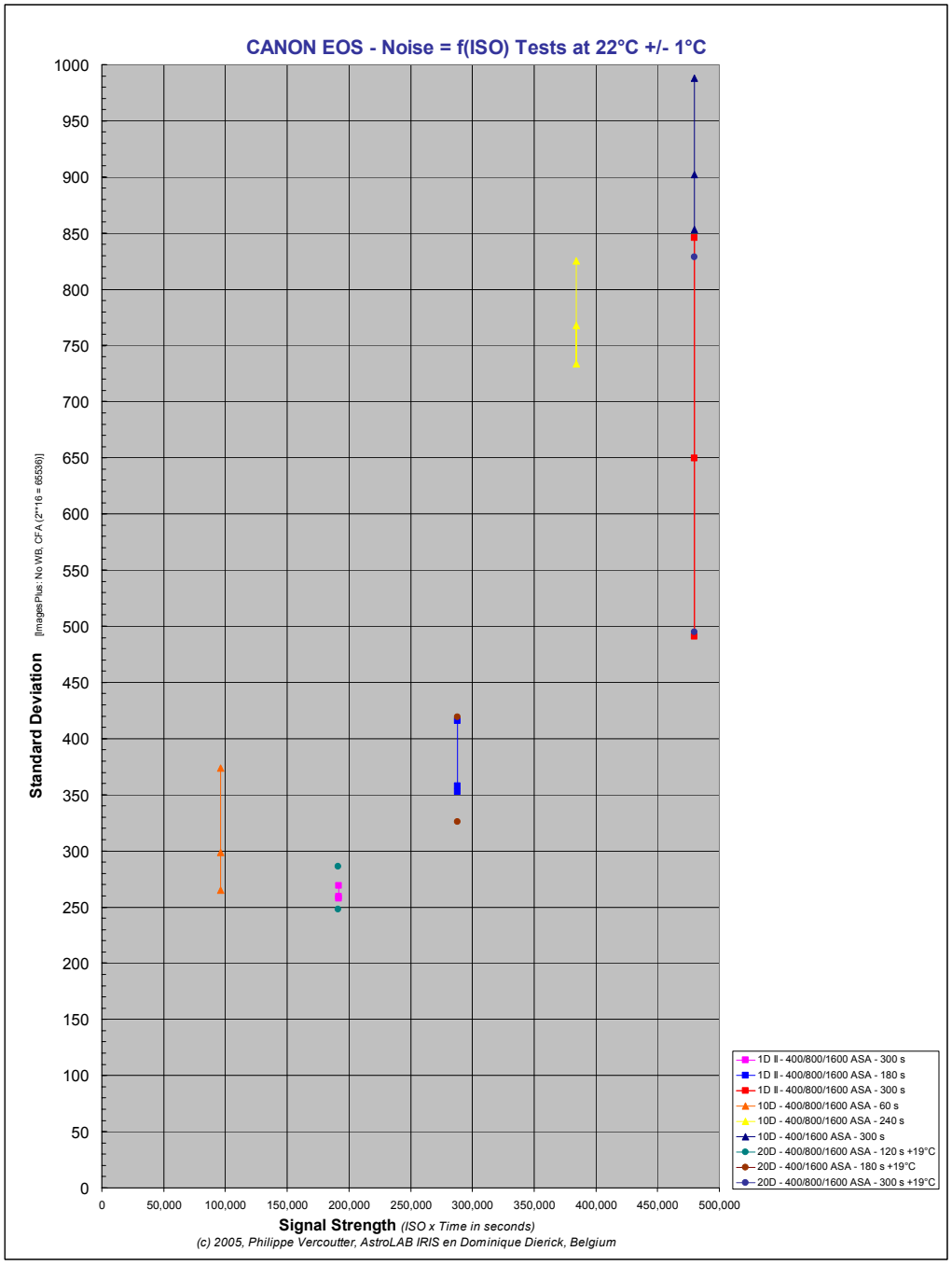


Figure 24 Ruisniveau's in functie van de ISO-instelling.

In deze grafiek wordt een bepaald signaalniveau voorgesteld door het product van de ISO waarde en de belichtingsduur in seconden. Voor een aantal signaalsterktes werd het ruisniveau in functie van 3 ISO-waardes bepaald. Zo bekomen we telkenmale 3 meetpunten (in eenzelfde kleur voorgesteld): het bovenste meetpunt stelt 400 ASA voor, het middelste 800 ASA en het onderste 1600 ASA. We zien dus dat we de beste SNR hebben bij 1600 ASA. Ook in deze grafiek merken we op dat de ruiskarakteristiek van de EOS-20D en de EOS-1D II volledig gelijk zijn. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

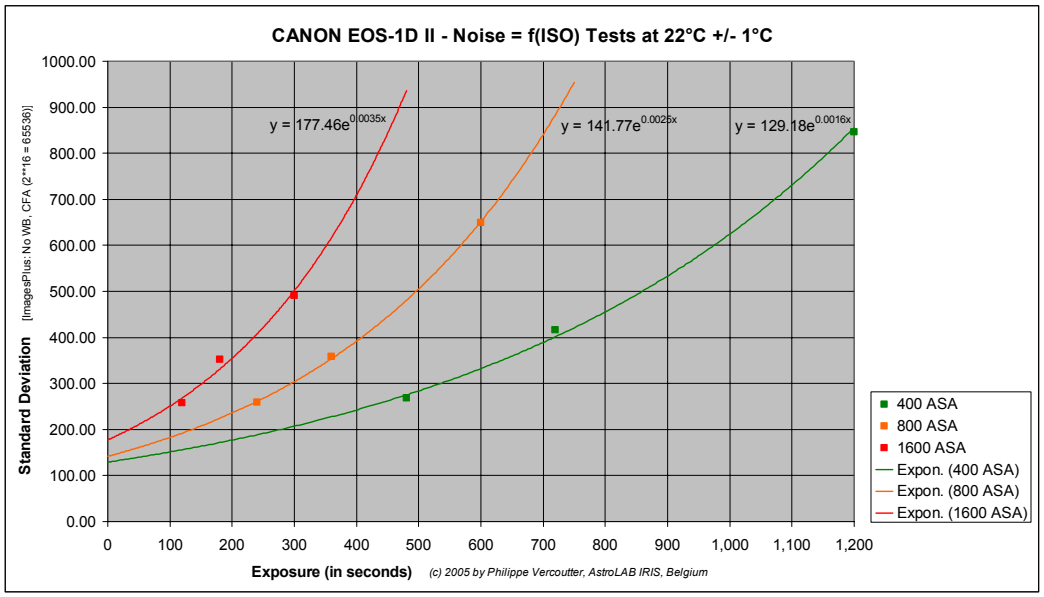


Figure 25 De ruis van een tweede generatie CANON EOS camera, de EOS-1D II, voor verschillende ISO-waarden en belichtingstijden bij een omgevingstemperatuur van 22°C.

Deze grafiek is eigenlijk een variante op de vorige. Men kan duidelijk opmerken hoe voor een bepaalde ISO-waarde de ruis exponentiëel stijgt naarmate men de belichtingsduur opdrijft. Dit is een belangrijk gegeven om te weten te komen of men beter x tijd bij 1600 ASA, dan wel y tijd bij 800 ASA of z tijd bij 400 ASA fotografeert. Als meetpunten werden de meetpunten van de EOS-1D II weerhouden, maar testen hebben aangetoond dat deze grafiek dezelfde is voor bijvoorbeeld de EOS-20D (en ongetwijfeld ook de EOS-350D; zeg maar alle tweede generatie CANON EOS digitale fototoestellen). © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

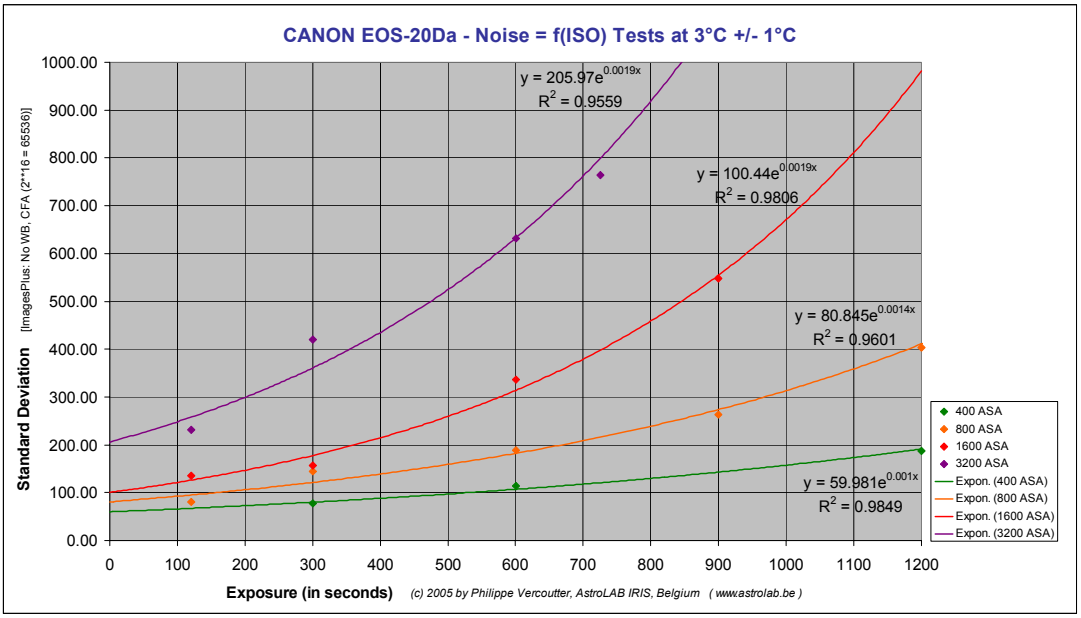
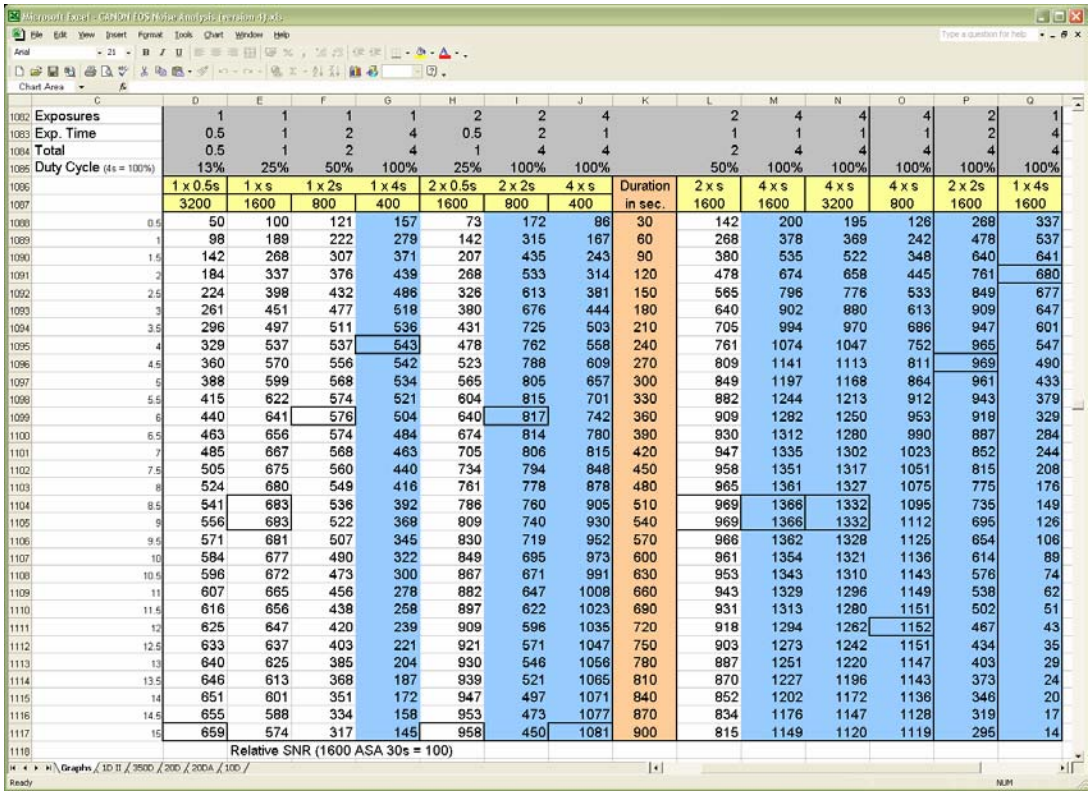


Figure 26 De ruis van een tweede generatie CANON EOS camera, de EOS-20Da, voor verschillende ISO-waarden en belichtingstijden bij een omgevingstemperatuur van 3°C.

Deze grafiek is gelijkaardig aan de vorige. Ditmaal betreft het echter de EOS-20Da bij een omgevingstemperatuur van 3°C (te vergelijken met een koele winternacht dus). De 400/800 ASA curves zijn zeker tot 10 minuten omzeggens perfect lineair te noemen. Alle andere ISO standen leveren een sterk exponentiële curve op.
Aan de hand van de formules die bij de curves staan aangegeven kan men het ruisniveau voor gelijk welke opnameduur voorspellen/bepalen. Dit geeft ons het grote voordeel dat we diverse fotografiescenario's kunnen uitrekenen (zoals bijvoorbeeld: is het maken van 2 opnames van s seconden op ISO 800, beter dan het maken van één enkele opname van s seconden op 1600 ASA, of is één opname van ISO 800 met een belichtingstijd van 2s seconden nog beter, enz.).
© 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.



	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1082	Exposures	1	1	1	1	2	2	4		2	4	4	4	2	1
1083	Exp. Time	0.5	1	2	4	0.5	2	1		1	1	1	1	2	4
1084	Total	0.5	1	2	4	1	4	4		2	4	4	4	4	4
1085	Duty Cycle (4s = 100%)	13%	25%	50%	100%	25%	100%	100%		50%	100%	100%	100%	100%	100%
1086		1 x 0.5s	1 x s	1 x 2s	1 x 4s	2 x 0.5s	2 x 2s	4 x s	Duration	2 x s	4 x s	4 x s	4 x s	2 x 2s	1 x 4s
1087		3200	1600	800	400	1600	800	400	in sec.	1600	1600	3200	800	1600	1600
1088	0.5	50	100	121	157	73	172	86	30	142	200	195	126	268	337
1089	1	98	189	222	279	142	315	167	60	268	378	369	242	478	537
1090	1.5	142	268	307	371	207	435	243	90	380	535	522	348	640	641
1091	2	184	337	376	439	268	533	314	120	478	674	658	445	761	680
1092	2.5	224	398	432	486	326	613	381	150	565	796	776	533	849	677
1093	3	261	451	477	518	380	676	444	180	640	902	880	613	909	647
1094	3.5	296	497	511	536	431	725	503	210	705	994	970	686	947	601
1095	4	329	537	537	543	478	762	558	240	761	1074	1047	752	965	547
1096	4.5	360	570	556	542	523	788	609	270	809	1141	1113	811	969	490
1097	5	388	599	568	534	565	805	657	300	849	1197	1168	864	961	433
1098	5.5	415	622	574	521	604	815	701	330	882	1244	1213	912	943	379
1099	6	440	641	576	504	640	817	742	360	909	1282	1250	953	918	329
1100	6.5	463	656	574	484	674	814	780	390	930	1312	1280	990	887	284
1101	7	485	667	568	463	705	806	815	420	947	1335	1302	1023	852	244
1102	7.5	505	675	560	440	734	794	848	450	958	1351	1317	1051	815	208
1103	8	524	680	549	416	761	778	878	480	965	1361	1327	1075	775	176
1104	8.5	541	683	536	392	786	760	905	510	969	1366	1332	1095	735	149
1105	9	556	683	522	368	809	740	930	540	969	1366	1332	1112	695	126
1106	9.5	571	681	507	345	830	719	952	570	966	1362	1328	1125	654	106
1107	10	584	677	490	322	849	695	973	600	961	1354	1321	1136	614	89
1108	10.5	596	672	473	300	867	671	991	630	953	1343	1310	1143	576	74
1109	11	607	665	456	278	882	647	1008	660	943	1329	1296	1149	538	62
1110	11.5	616	656	438	258	897	622	1023	690	931	1313	1280	1151	502	51
1111	12	625	647	420	239	909	596	1035	720	918	1294	1262	1152	467	43
1112	12.5	633	637	403	221	921	571	1047	750	903	1273	1242	1151	434	35
1113	13	640	625	385	204	930	546	1056	780	887	1251	1220	1147	403	29
1114	13.5	646	613	368	187	939	521	1065	810	870	1227	1196	1143	373	24
1115	14	651	601	351	172	947	497	1071	840	852	1202	1172	1136	346	20
1116	14.5	655	588	334	158	953	473	1077	870	834	1176	1147	1128	319	17
1117	15	659	574	317	145	958	450	1081	900	815	1149	1120	1119	295	14
1118		Relative SNR (1600 ASA 30s = 100)													

Table 4 SNR waardes voor diverse fotografiestrategieën bij 3°C.

De pasteloranje kolom duidt de belichtingsduur s aan voor 1600 ASA. Voor 1600 ASA opnames zijn dat dus de gewone belichtingsduren, voor 800 ASA dien je ze te vermenigvuldigen met 2 (omdat je 2x zolang moet belichten om eenzelfde signaalsterkte te bekomen), voor 400 ASA met een factor 4. Er wordt van uit gegaan dat we in totaal 4 x s seconden ter beschikking hebben om foto's te nemen.

De kolommen met een gele hoofding duiden de relatieve SNR-waardes aan voor een aantal strategiën. Hierbij is de SNR van een 30 seconden 1600 ASA opname gelijk aan 100 gesteld. We gaan hier uit van de veronderstelling dat we gedurende 4 x s tijd zullen fotograferen. Je kunt dan ofwel 4 opnames van 1600 ASA maken met een belichtingstijd s, ofwel bijvoorbeeld 2 opnames van 800 ASA met een belichtingsduur van 2 x s, ofwel één opname van 400 ASA met een duur van 4 x s, enzovoort.

De lichtblauwe kolommen duiden 8 scenario's aan waarbij we voortdurend (zonder pausering dus) fotograferen. De witte kolommen betreffen scenario's waarbij we de fotografiesessie telkenmale onderbreken. Tijdens die pauseringen kan de camera verder afkoelen. De zwart omrande cellen duiden de beste SNR voor die we hebben berekend voor een welbepaald scenario.

De nu volgende figuren geven deze resultaten in grafiekvorm weer.
© 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

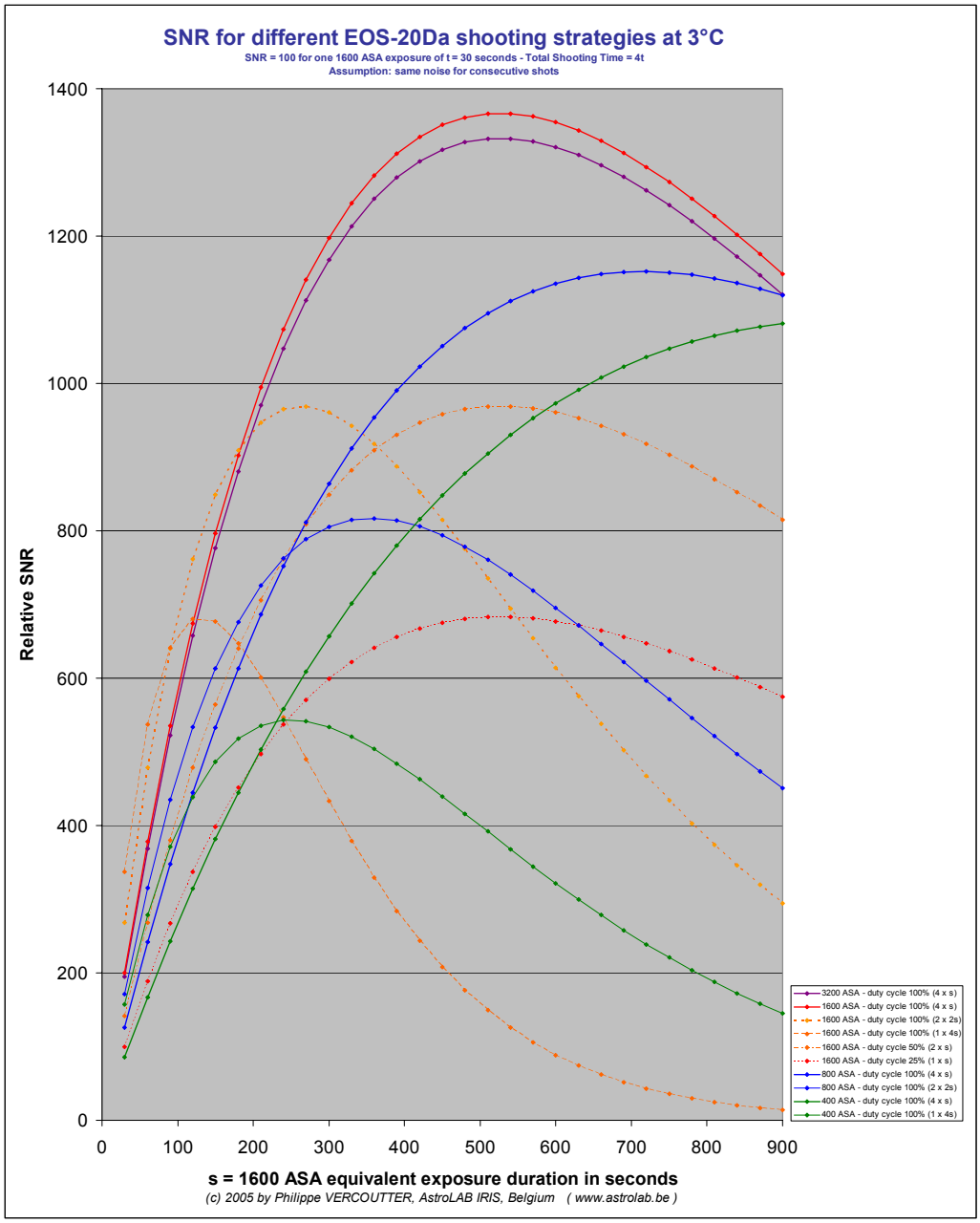


Figure 27 SNR voor diverse CANON EOS-20Da fotografiestrategiën bij 3°C.

In deze grafiek zie je op de X-as de duur van een opname uitgedrukt in 1600 ASA equivalenten. Voor 1600 ASA opnames zijn dat de gewone belichtingsduren, voor 800 ASA dien je ze te vermenigvuldigen met 2 (omdat je 2x zolang moet belichten om eenzelfde signaalsterkte te bekomen), voor 400 ASA met een factor 4. Er wordt van uit gegaan dat we in totaal 4 x s seconden ter beschikking hebben om foto's te nemen. Dan kun je in principe 4 opnames van 1600 ASA van s seconden maken, ofwel 2 opnames van 800 ASA van 2s seconden, ofwel bijvoorbeeld 4 x één 400 ASA opname van s seconden, ofwel één opname van 4s seconden. Een aantal van deze scenario's werd in beeld gebracht. De kwantitatieve resultaten vind je ook terug in de tabel hierboven. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

Wat leren we nu concreet uit deze grafieken?

1) Eerst en vooral zien we dat we de 3200 ASA stand mogen vergeten. De resultaten zijn volkomen gelijklopend aan de 1600 ASA (de curve is een volkomen copie van de 1600 ASA curve, alleen dan wat verschoven naar beneden, dus naar slechtere SNR waardes). We merkten eerder al op dat we de 3200 ASA stand ook al zouden vermijden vanwege de sterk verminderde dynamiek.
2) Continu fotograferen aan 1600 ASA levert de beste SNR-waarden op, gevolgd (door 3200 ASA en nadien) door de 800 ASA. Dit is zo ongeacht de belichtingsduur van een individuele frame.
3) Het is niet zo dat langere opnameduren zeker tot betere SNR-waardes leiden: er is een welbepaalde individuele belichtingstijd per ISO instelling waarbij de SNR het grootst is.

Type	Temperatuur	ASA	Optimum
20Da	3°C	400	16 minuten
		800	12 minuten
		1600	**9 minuten**
		3200	10 minuten
1D II	22°C	400	11 minuten
		800	7 minuten
		1600	**5 minuten**

☞ Bij hogere temperaturen liggen deze optimale belichtingstijden dus lager.
☞ Om deze maximale SNRs te bereiken zul je in donkerte-gebieden moeten werken want anders kun je gewoon nooit bijv. 8 minuten lang aan 1600 ASA werken. Of nog anders gezegd, jammer genoeg, kun je je CANON EOS camera nooit optimaal benutten in onze lichtverontreinigde gebeieden! De limiterende factor is de hemel, zeker niet je camera.
☞ De CANON EOS-1D II grafieken voor 22°C vindt de lezer terug in de referentiesectie achteraan in deze publikatie.

Opegpast! Deze SNR-afleidingen zijn gebaseerd op de veronderstelling dat de camera steeds perfect is afgekoeld. In de praktijk zal de camera opwarmen (hierover later meer), waardoor je normaal gezien, tenzij je de extra maatregelen aangegeven in de tekst neemt, deze SNR-waardes in de praktijk nooit ten volle zult bereiken.

2.5. Technieken om de ruis te minimaliseren

2.5.1. Keuze van de detector

De technologie staat niet stil, dat kunnen we iedere dag weer rondom ons constateren. Dit is ook het geval bij digitale camera's. De eerste camera's hadden duidelijk last van een aantal kinderziektes. Overdreven ruis was er daar maar één van.
Wil je een goede deep-sky foto maken, probeer dan in ieder geval een detector van de recentere generatie te pakken te krijgen. Zo bijvoorbeeld werd (ook in onze studie) aangetoond dat de EOS-20D, EOS-350D, EOS-1D II en EOS-20Da maar de helft zoveel ruis hebben als de eerste generatie camera's (EOS-10D en EOS-300D bijvoorbeeld). Kies daarom dus voor een recente detector en het ruisprobleem is al voor een heel stuk opgelost.

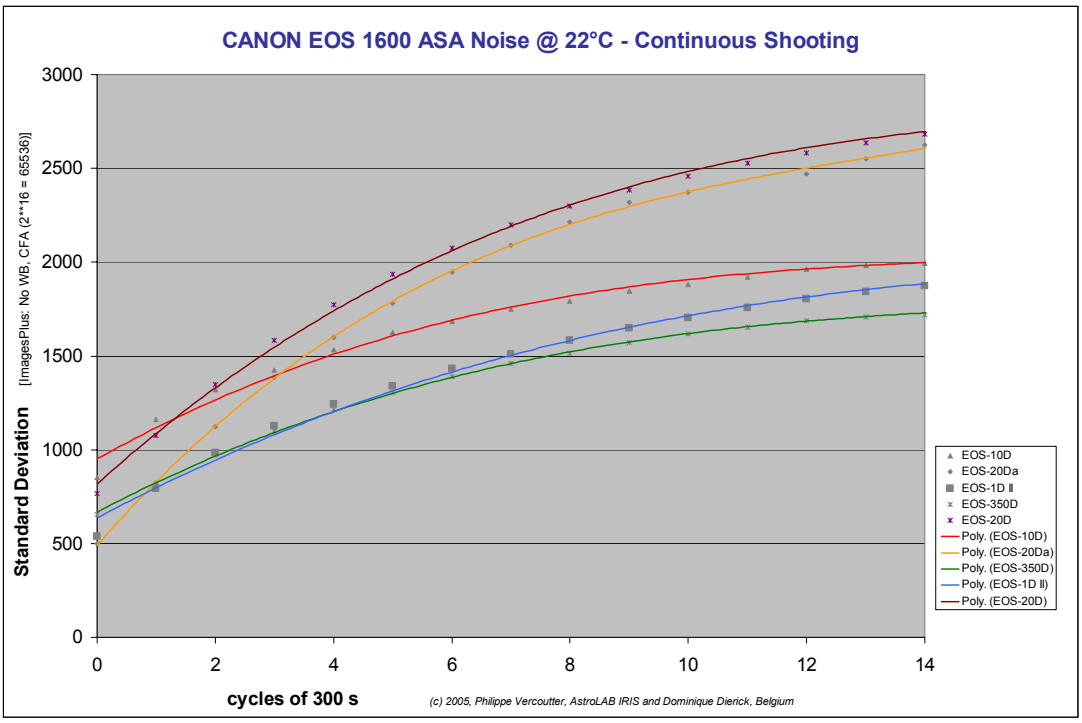


Figure 28 Vergelijking van de ruisniveaus voor 5 types van CANON EOS camera's.

Hoe deze grafiek te lezen ? Het best is te kijken naar de beginpunten voor de 5 verschillende curves : deze punten geven het ruisniveau aan van de bewuste camera. De CANON EOS-20Da scoorde in de testen hierin het best, gevolgd door de EOS-1D II en EOS-350D. De CANON EOS-10D scoort beduidend slechter (zie de rode lijn). Wat we echter nu ook al zien is dat de EOS-20D(a) véél sneller opwarmt dan de EOS-1D II en EOS-350D. Dit betekent dat, wanneer men geen bijkomende maatregelen neemt, na 3 opnames de EOS-20D(a) al slechter scoort dan de EOS-1D II en EOS-350D. Later in het artikel volgen een aantal tips om deze opwarming tegen te gaan. In ieder geval is het duidelijk dat de startwaardes van de ruis van de vorige generatie EOS-chips (gebruikt in de EOS-10D) beduidend hoger ligt. Maar opnieuw: als je geen bijkomende maatregelen neemt dan kan de ruis van de EOS-20D(a) uiteindelijk ook hoger komen te liggen dan bij deze eerste generatie chip. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS en Dominique Dierick, België.

2.5.2. Gebruik van het RAW formaat

De meeste digitale cameras laten toe te werken met JPEG (gecomprimeerd formaat) en RAW formaat. Het RAW formaat is een exacte weergave van hoe het beeld is

opgebouwd op de bayer matrix van CMOS of CCD. JPEG geeft altijd een interpretatie van het ruwe beeld. Als je op een digitale reflex instellingen verandert qua contrast of kleurbalans, heeft dit onmiddellijk invloed op het JPEG beeld, maar niet op het ruwe beeld. Met andere woorden, het JPEG beeld heeft op zijn minst al een bewerking ondergaan nog voor je het te zien krijgt. Dit is voor astrofotografie niet wenselijk om een paar belangrijke redenen:

- Gezien we door lang te belichten ruis hebben opgebouwd, riskeert die ruis "uitgesmeerd" te worden over grotere aantallen pixels na interpretatie van het ruwe bayer formaat naar JPEG. In de praktijk hebben we dit ook duidelijk kunnen vaststellen.

- Daar de omzetting naar JPEG anders zal zijn met het belichte beeld dan met je darkframes (omwille van het simpele feit dat het beeld een andere inhoud heeft, en het JPEG algoritme erdoor beinvloed wordt), is het duidelijk dat het ruispatroon van licht beeld en darkframe lichtjes zal verschillen. Dit is absoluut niet wenselijk, daar de calibratie er duidelijk en zichtbaar door verstoord wordt!

- JPEG is hoedanook een gecomprimeerd formaat van beeldopslag. Hoe groot ook de precisie, door de compressie krijg je artefacten in vooral het ruispatroon na bewerking van het histogram (stretchen of DDP).

Om deze redenen is het best zo lang mogelijk het exact ruwe beeld te gebruiken in de bewerkinscyclus. Sommige programmas laten dit ook toe. Zo kan je in Maxim/DL en ImagesPlus werken op het volkomen monochrome ruw bayer formaat. Met andere woorden, het beeld is zelfs niet omgezet naar kleur! In ImagesPlus kan je dit bereiken door bv het Canon CR2 (RAW) formaat om te zetten naar het “No Whitebalance – CFA” conversieprogramma in het softwarepakket. Deze beelden worden dan opgeslagen als niet-geinterpreteerd monochrome bayer in FITS formaat.

Bij de calibratie met darkframes kan je dan ook best dit formaat hanteren. Het geeft de beste resultaten qua calibratie nauwkeurigheid en noise niveau.

Na de calibratie met darkframes kan je dan de monochrome FITS beelden omzetten naar kleurenbeelden door een andere conversie opdracht in ImagesPlus of Maxim/DL. Verdere processing verloopt dan zoals met traditionele kleuren deep-sky beeldjes gemaakt met CCD.

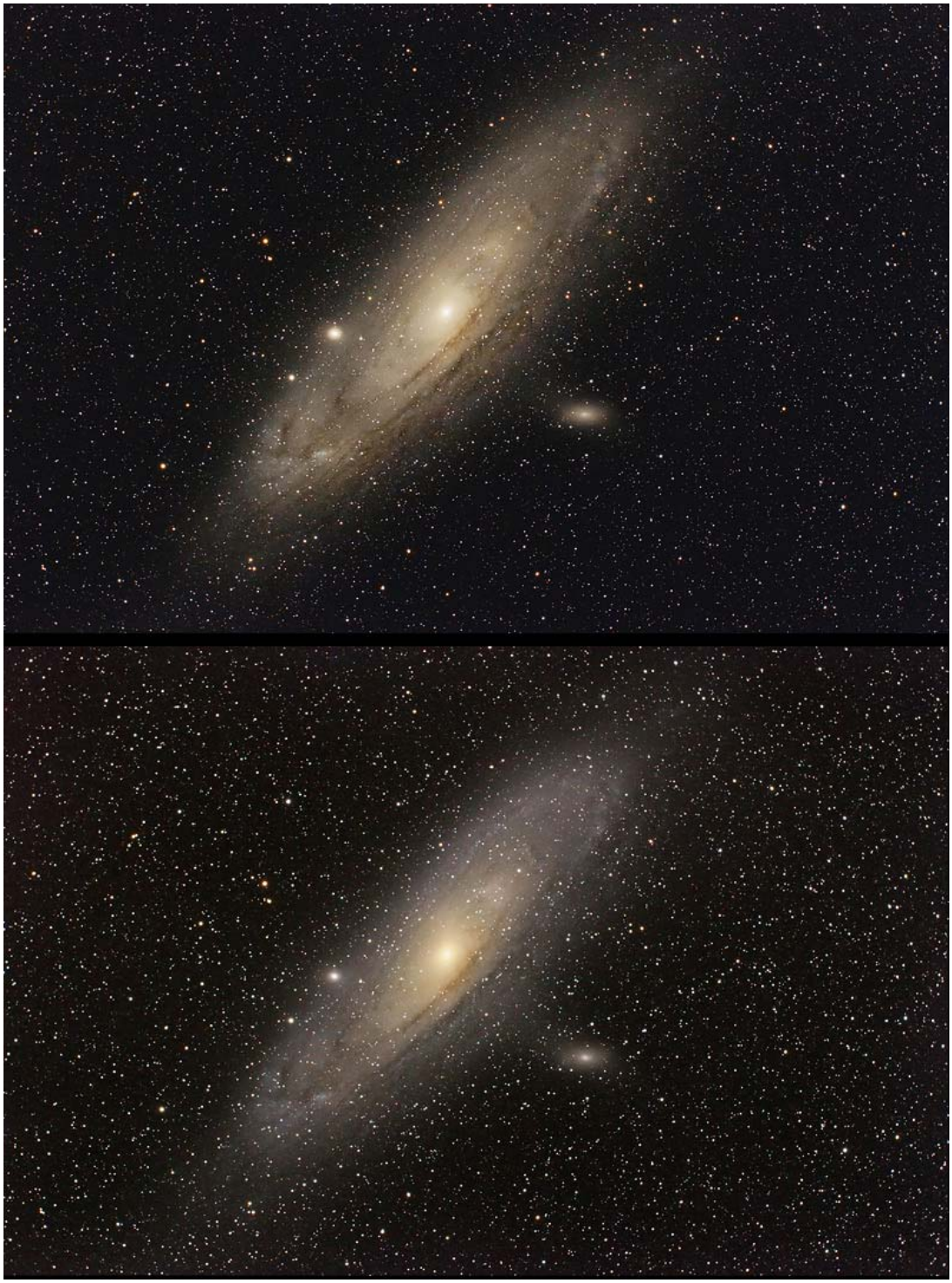


Figure 29 M31 mét en zonder monochrome RAW calibratie.

Deze twee foto's illustreren tot wat het calibreren op de originele (monochrome) RAWs, in plaats van de naar kleur omgezette RAWs kan leiden (eerste foto = calibratie op de originele RAW, tweede foto = calibratie op de naar kleur omgezette RAW). We zien duidelijk dat de eerste foto minder ruis vertoont en mooiere, diepere kleuren oplevert. © 2005, Dominique Dierick, België.



Figure 30 Een stukje van de sluiernevel (NGC6992) zonder en mét monochrome RAW calibratie.

Het eerste detail uit NGC6992 kwam tot stand na calibratie van reeds naar kleur omgezette RAWs. Rechtsonder zien we hoe sterk de ruis wordt teruggedrongen door de darkframes toe te passen op de originele, monochrome RAWs. We merken in deze vergelijking wel goed een bepaalde kleurshift op: bij de eerste opname zijn de kleuren feller, bij de tweede gaat alles eerder op naar pastelachtige, doffere kleuren. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

2.5.3. Gebruik van kleine variaties (dithering)

Gezien ruis per definitie verminderd kan worden door uitmiddeling (denk aan webcam video van planeten!), is het nuttig om bij de opname te zorgen voor een "verschuiving" van het ruispatroon in de opname, zodat later met mediaan of sigma combinatie de nog resterende ruis na darkframe calibratie nog kan worden verminderd.

In zijn meest eenvoudige vorm kan dithering worden toegepast bij de opname. Het komt er op neer dat je het opnameveld iets verschuift tussen elke opname of reeks van opnames.

Maak je geen gebruik van gespecialiseerde programmatuur, kan je simpelweg na bijvoorbeeld 3 opnames van 10 minuten belichting, de volgkijker ietsje wijzigen van positie (niet meer dan een paar boogseconden) en de volgster opnieuw centreren. Daardoor verschuift het ruispatroon en zal je na de uiteindelijke mediaan of sigma clipping combinatie van je beelden beduidend minder ruis gaan overhouden.

Kortom, een goed werkende sequentie kan zijn: 3 x 600s, verschuiven volgster (en ondertussen heb je ook een pauze ingelast waardoor de camera wat kan koelen!), opnieuw 3 x 600s, enz.

Programma's zoals Maxim/DL laten toe om automatisch te ditheren. Tussen elke opname wordt een random verschuiving gedaan binnen een straal van 10 pixels. Vanzelfsprekend houdt dit in dat je zowel guide camera (bv je webcam of ST4) ALS de DSLR vanuit Maxim gaat besturen! Anders zal de dithering uiteraard alleen tot volgfouten leiden, wat niet de bedoeling kan zijn. Gelukkig bestaat er sinds kort een plugin voor Maxim/DL waardoor je de CANON en NIKON camera's met parallelle of seriele kabel kan aansturen, simultaan met een volgCCD of webcam.

2.5.4. Temperatuurscontrole

Een eerste vaststelling: ruis = f(T)

We beginnen deze paragraaf met eerst de feiten op een rijtje te zetten. De ruis die aanwezig is op astrofoto's genomen met digitale reflexcamera's blijkt niet alleen afhankelijk te zijn van de ingestelde ISO waarde, maar ook sterk van de omgevingstemperatuur T. De grafieken hieronder tonen dit duidelijk aan.

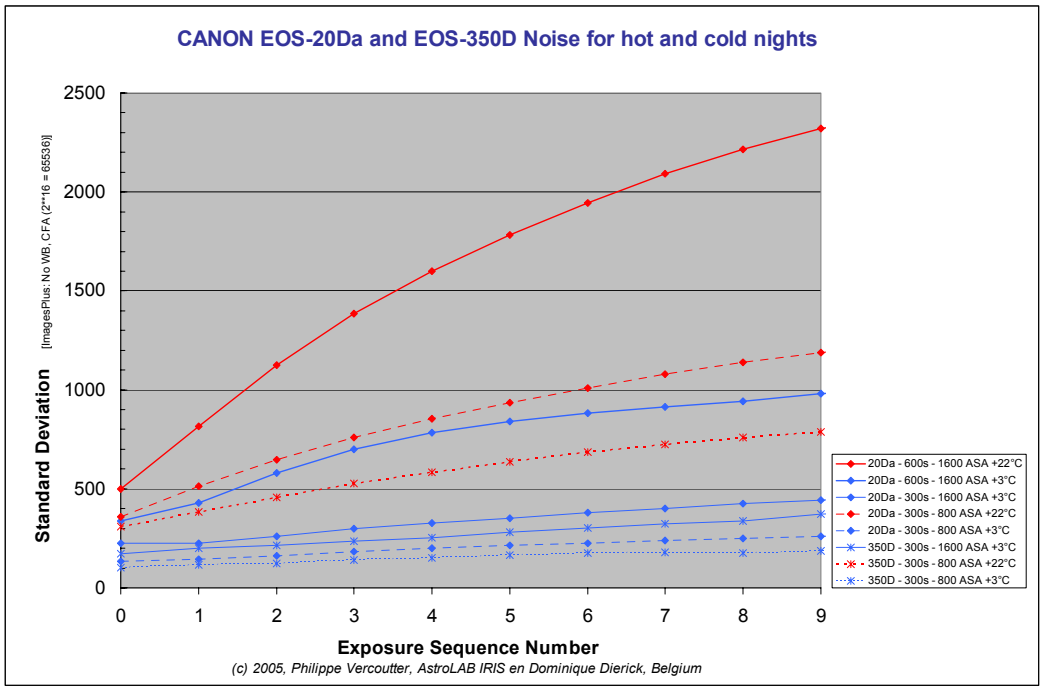


Figure 31 De ruis van twee recente CANON EOS-camera's in functie van de temperatuur.

Deze grafiek toont duidelijk aan dat de ruis sterk toeneemt bij toenemende temperatuur : voor twee recente types van CANON EOS-camera's werden de ruisniveau's voorgesteld bij zowel 3°C als 22°C en dit éénmaal voor een belichtingsduur van 300 seconden en éénmaal voor 600 seconden. Merk op dat de CANON EOS-20DA op 1600 ASA bij 3°C (dikke blauwe volle lijn met diamantjes) dubbel zolang mag fotograferen (600 seconden) om toch maar aan evenveel ruis te komen als bij een 5 minuten opname op 800 ASA bij 22°C (rode stippellijn met diamantjes). Een temperatuursdaling van grofweg 20°C laat dus toe om 2 x langer te belichten en dan nog eens bij een dubbele ISO waarde (in totaal winnen we dus 4X aan signaal !). Of, anders gezegd, per 5°C temperatuursstijging kan men zich dus aan een ruistoename van 100% verwachten. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS en Dominique Dierick, België.

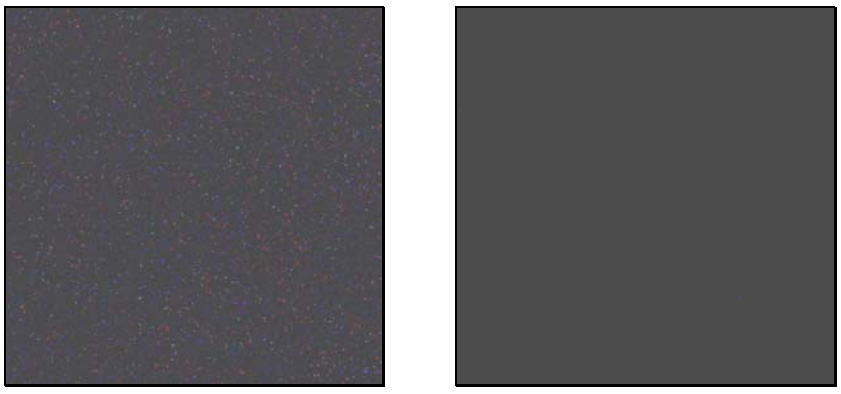


Figure 32 Ruis bij 22 en 3°C in 1600 ASA opnames van een CANON EOS-350D.

Om het wat aanschouwelijker voor te stellen hebben we 2 uitsnedes gemaakt van 1600 ASA darkframes opgenomen bij 22 en 3°C. Beide opnames werden evenveel versterkt om de ruis wat zichtbaarder te maken. Merk op dat in de rechteropname er nog nauwelijks sprake is van enige zichtbare ruis. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS en Dominique Dierick, België.

Deze constatatie laat ons toe al onmiddellijk een paar nuttige tips te geven. Eigenlijk komen die hier op neer : probeer op zo koud mogelijke nachten en plaatsen te fotograferen met een digitale reflexcamera. Of nog : liever fotograferen in de ochtend dan in de avond, liever tijdens de winter dan in de zomer, liever op een grotere hoogte dan op zeespiegel, liever aan de Noordpool dan aan de evenaar. Alles wat kan helpen om de omgevingstemperatuur naar beneden te krijgen is dus positief ! Een andere maatregel zou kunnen zijn je camera, voordat je begint effectief te fotograferen, in de vooravond bijvoorbeeld, gewoon… in de frigo te leggen. Grappig zicht zo je dure digitale camera tussen de wortelen, sla en bereide gerechten te zien staan, dat misschien wel, maar zeker effectief! Voor alle duidelijkheid, en vooraleer er ongelukken gebeuren, stop je camera minstens in een dunwandige plastieken zak en plaats de camera zeker niet tegen de achterwand van de frigo want dan zou die kunnen aanvriezen, wat niet echt de bedoeling is. Zorg er in ieder geval voor dat te allen tijde de temperatuur van je camera binnen de specificaties blijft die de camerafabrikant opgeeft. Misschien ook nuttig om te weten : de CANON EOS-1D II zijn werkingstemperatuur moet tussen de 0 en 45°C zijn en de luchtvochtigheid <= 85%. Voor een CANON EOS-20D zijn deze specificaties lichtjes anders : werkingstemperatuur moet tussen de 0 en 40°C zijn en de luchtvochtigheid <= 85%.

Een tweede vaststelling: ruis = f(t)

Indien je met een CANON EOS digitale reflexcamera een reeks foto's direct na elkaar maakt, zonder tussenpauses dus, dan zullen in het algemeen de opeenvolgende foto's alsmaar meer ruis beginnen te vertonen. Deze toename van de thermische ruis is te wijten aan de opwarming van de camera. Laten we alles zijn beloop gaan, dan krijgen we met alsmaar meer ruis te maken. In het begin neemt deze ruis razendsnel toe om uiteindelijk, na zo'n 10 opname's, te stabiliseren. Er werden ruistoenames van maar liefst 300% geregistreerd, de moeite waard dus om te onderzoeken of dit fenomeen kan worden vermeden.

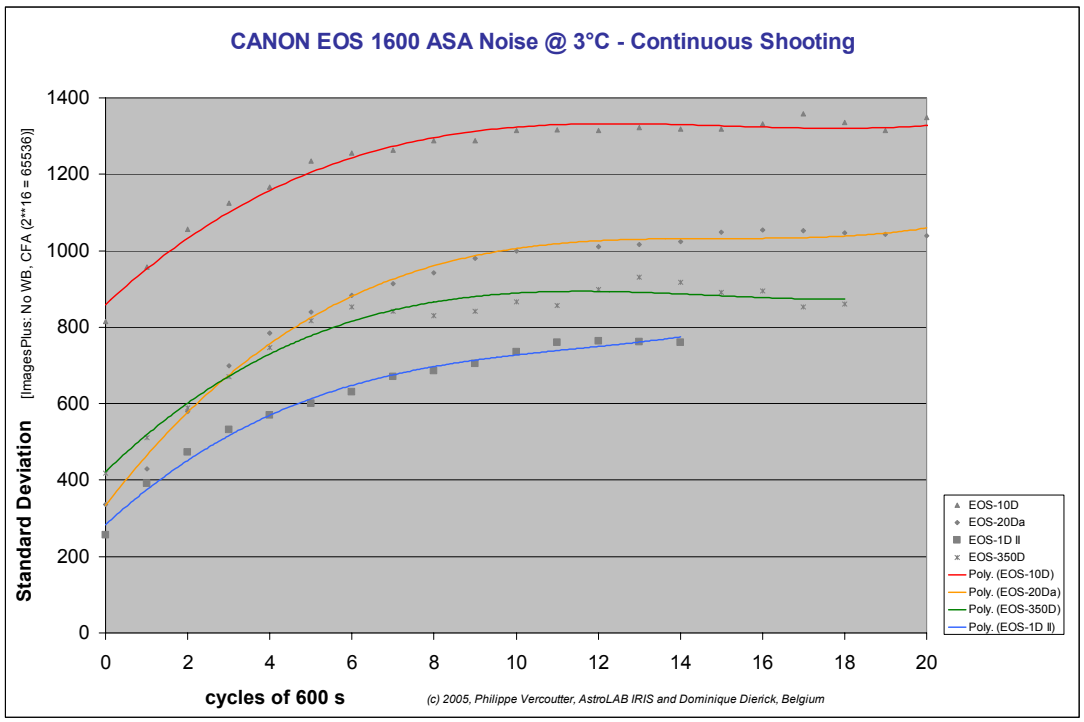


Figure 33 Toename van de ruis van CANON EOS camera's door interne warmteontwikkeling.

De auteurs hebben testen uitgevoerd in verband met de thermische ruisontwikkeling bij diverse digitale camera's uit de CANON EOS reeks. Deze grafiek toont aan hoe de ruis zich ontwikkelt wanneer men 20 foto's van 10 minuten elk na elkaar neemt bij een omgevingstemperatuur van 3°C. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS en Dominique Dierick, België.



Figure 34 Toename van de ruis bij 22°C van een CANON EOS-350D (Rebel) door interne warmteontwikkeling.

Grafieken zijn een zaak, maar wat moet men zich nu eigenlijk in de praktijk voorstellen van deze toename in ruis? We doen het aan de hand van twee (in helderheid versterkte) uitsnedes uit 2 foto's uit een reeks van darkframes. Het linkerbeeld toont de eerste 1600 ASA opname uit de reeks. De tweede opname toont een analoge darkframe maar dan 24 opnames verder in de reeks (2 uren later dus want de belichtingsduur van één opname bedroeg 5 minuten). De toename in ruis is zeer duidelijk. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS en Dominique Dierick, België.

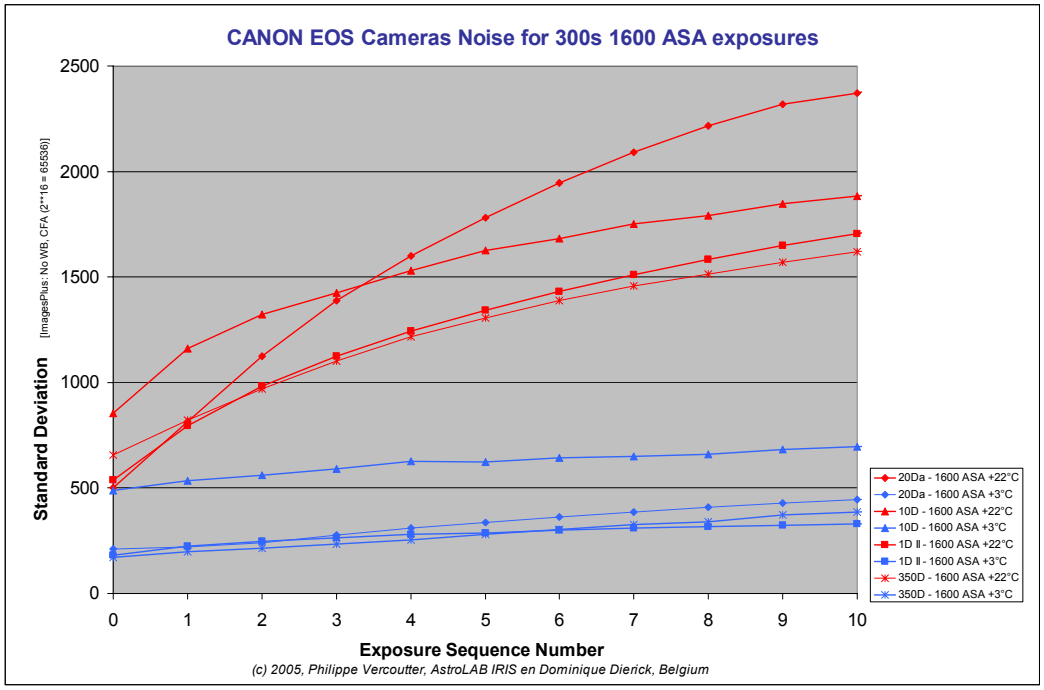


Figure 35 Toename van de ruis bij continu-fotografie met CANON EOS camera's.

Deze grafiek toont dat aan dat de ruis gedurende de eerste 10 foto's van een opnamereeks altijd toeneemt; er werd geen enkel geval gevonden waarbij de detector niet opwarmde. Deze toename is het sterkst bij de hoogste omgevingstemperaturen (22°C) en ISO instellingen (1600 ASA). De temperatuursstijging verloopt in zo'n gevallen exponentieel. Werkt men daarentegen bij een omgevingstemperatuur van nog slechts zo'n 3°C (blauwe curve's), dan verloopt de temperatuurstoename quasi lineair. Merk op dat dé grootste ruisvariatie ten gevolge temperatuurswijzingen werd opgemeten bij 1600 ASA continu-fotografie bij kamertemperatuur met een CANON EOS-20Da. De kleinste standaard deviatie, bij de start van de reeks, bedroeg rond de 500. Na twintig opnames was deze al opgelopen tot een waarde boven de 2800 (dus een toename van een factor 5). Een aandachtige lezer zal ook opmerken dat de EOS-20Da, EOS-350D en EOS-1DII ongeveer dezelfde startwaardes van ruis hebben, maar dat de EOS-20Da véél meer aan temperatuurstoename onderhevig is dan de andere 2 geciteerde cameras. Ofwel heeft dit te maken met de veel lichtere constructie van de EOS-350D of de materiaalkeuze van de EOS-1D II (waardoor deze de in de camera ontwikkelde warmte veel sneller kan afstaan aan de omgeving dan de EOS-20Da) ofwel ontwikkelt de EOS-20Da gewoonweg meer warmte. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS en Dominique Dierick, België.

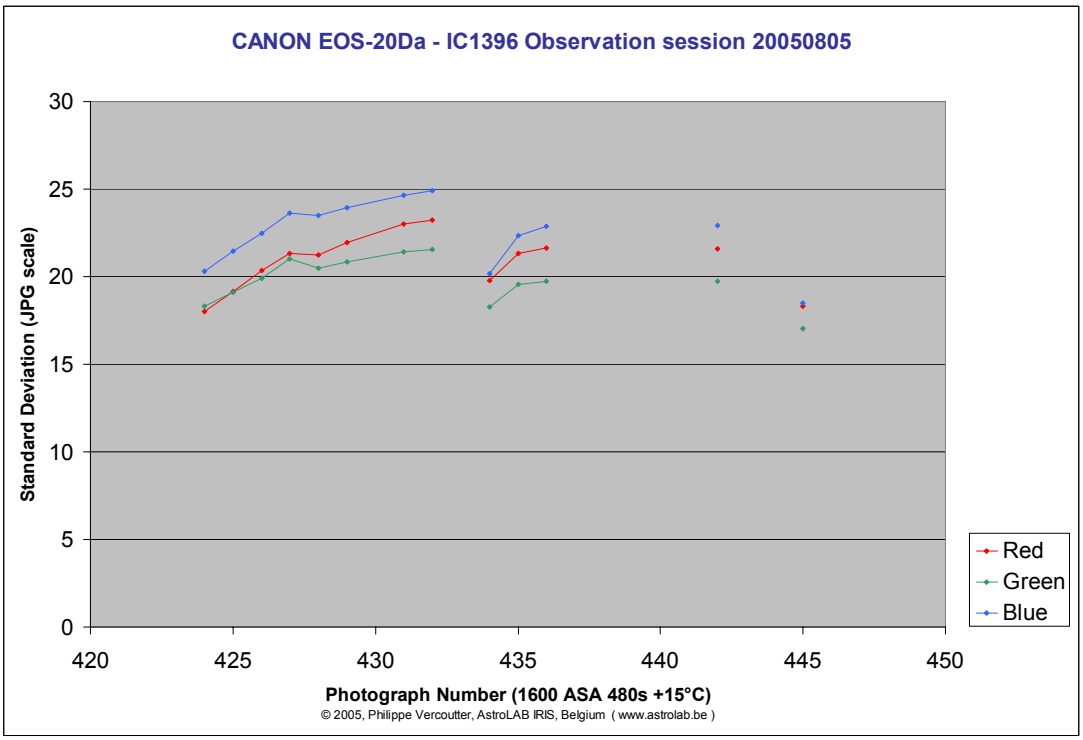


Figure 36 Voorbeeld van een waarnemingssessie met de CANON EOS-20Da @ 1600 ASA.

Dat het niet zomaar allemaal theorie is wat hier wordt verkondigd wordt goed geïllustreerd aan de hand van deze CANON EOS-20Da waarnemingssessie (5 Augustus 2005, Allos, Zuid-Frankrijk). Testobject was IC1396. We merken onmiddellijk de typische gebogen ruiscurve op. Wanneer we een beetje pause laten tussen een aantal opnames, bijv. tussen opname 432 en 434 werd een goede 20 minuten gewacht, dan zien we dat de camera afkoelt en nadien op een lager ruisniveau weer verder gaat. Nadien ontstaat dan direct opnieuw de typische gebogen curve (opname 434 tot 436). Deze ruiscurves werden afgeleid uit JPG opnames en dit voor de 3 kleurkanalen: rood, groen en blauw. De laagste ruisniveau's worden opgemeten in het groenkanaal aangezien we daar over 2 pixels beschikken in plaats van één enkele rode of blauwe (of nog anders gezegd: 50% van het detectoroppervlak is groen; de overige 50% wordt gelijk verdeeld tussen het blauw en het rood. Dat de 20Da gevoelig is in het rood mag ook blijken uit diens ruisniveau; die ligt beduidend onder de blauwe curve. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

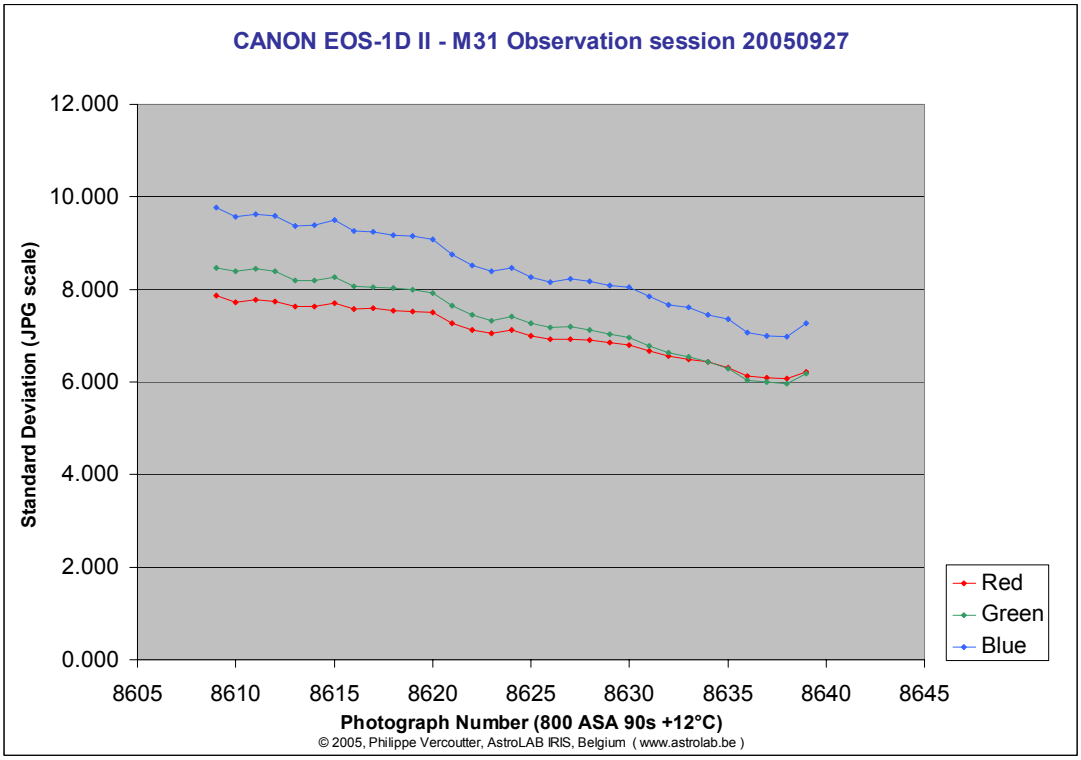


Figure 37 Voorbeeld van een waarnemingssessie met de CANON EOS-1D II @ 800 ASA.

Dit is een voorbeeld van een ruisgrafiek afgeleid uit JPG opnames genomen met een CANON EOS-1D II op 27 September 2005 vanuit Ieper, België. Testobject was M31. Hier zien we niet de typische opwarmingsgrafiek zoals in de vorige figuur. Dit komt omdat er voldoende warmte kon worden afgevoerd via de lucht die tijdens de nacht alsmaar kouder werd. Gedurende de nacht kan de omgevingstemperatuur gemakkelijk 0.5°C per uur dalen. Dit komt de CANON EOS deep-sky fotografie ten goede. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

Intervalfotografie

Een eerste manier om de ruisontwikkeling tegen te gaan is het inlassen van pauses. Het grote voordeel van deze manier van afkoelen is dat het geen extra electronica of toebehoren vergt en dat iedereen het kan toepassen. Natuurlijk willen we niet al te lang pauseren omdat tijdens dit pauseren geen licht (signaal) wordt vastgelegd wat uiteraard niet bevorderlijk is voor het maximaliseren van de SNR! De kunst bestaat er nu juist uit om de duur van deze pauses zo te kiezen dat het algemene ruisniveau toch daalt, zonder al te veel lichtverlies te leiden.
De onderstaande grafieken geven duidelijk aan tot welke daling van het ruisniveau een pause van bijvoorbeeld 5 of 8 minuten leidt bij de CANON EOS-1D II. Analoge trends werden vastgesteld bij de andere types van camera's uit de CANON EOS-reeks.

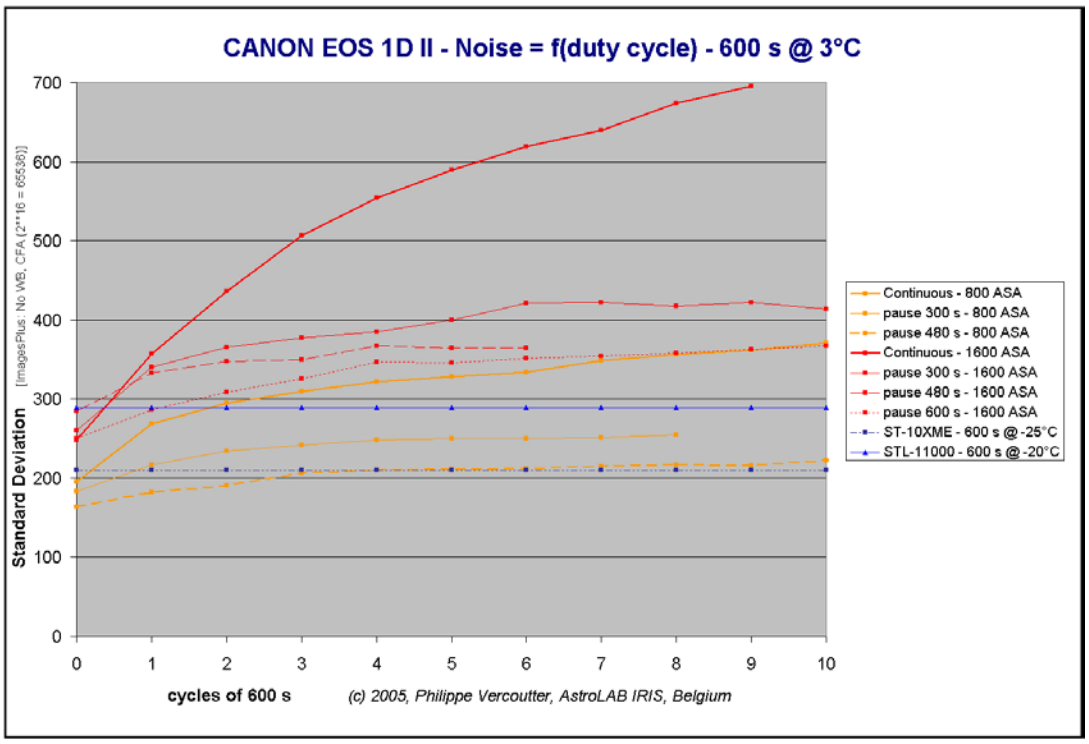


Figure 38 Het effect van het inlassen van pauses bij 10-minuten-opnames op het ruisniveau bij de EOS-1D II.

De grafiek toont duidelijk aan dat het inlassen van een pause van bijvoorbeeld 5 minuten bij het nemen van een reeks van opnames met een belichtingstijd van 10 minuten leidt tot een zeer aanzienlijke vermindering van het ruisniveau. De spectaculairste verbeteringen zien we uiteraard bij de hoogste ISO waarden : bij 1600 ASA stabiliseert de ruis zich rond een standaard deviatie van 830 (zie figuur 3), terwijl wanneer men een pause van 5 minuten inlast, deze ruis zich stabiliseert op het niveau 420. Alhoewel we dus de effectieve belichtingstijd verminderen met slechts 33% (ipv. 15 minuten belichten, belichten we nog slechts 10 minuten en wachten 5 minuten), de ruis vermindert dan reeds met ongeveer 50%. Of, nog anders gezegd, nemen we geen 5 minuten pause na een belichting van 10 minuten, dan verhoogt de ruis met 100%. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

Het organiseren van een pause tussen opeenvolgende opnames is een gemakkelijke manier om het algemene ruisniveau aanzienlijk te laten dalen. De grootste winst wordt uiteraard behaald in het geval men voor de hogere ISO waardes kiest (wat men meestal toch doet omdat men het signaal wil maximaliseren). Bij de lagere 400 ASA ISO waarde is de winst relatief bescheiden. Ook niet vergeten dat bovenstaande grafiek de ruiswaardes tonen bij een toch wel zeer favorabele omgevingstemperatuur voor een digitale camera, namelijk 3°C. In het algemeen zal de temperatuur 's nachts hoger liggen. Dit betekent dat de winst door pauses in te lassen in de meeste gevallen nog spectaculairder zullen zijn.

Merk in bovenstaande grafiek ook de ruisniveau's van twee referentie CCD's op: de SBIG ST-10XME en de SBIG STL-11000. Zelfs al worden deze CCD's gekoeld tot op -20 of -25°C, door het nemen van geschikte maatregelen kan men met sommige digitale reflexcamera's met CMOS qua ruis op hetzelfde niveau (of beter !) uitkomen. Zomaar zeggen dat CMOS gebaseerde camera's slechter scoren qua ruis is dus ten dele een foutieve bewering.

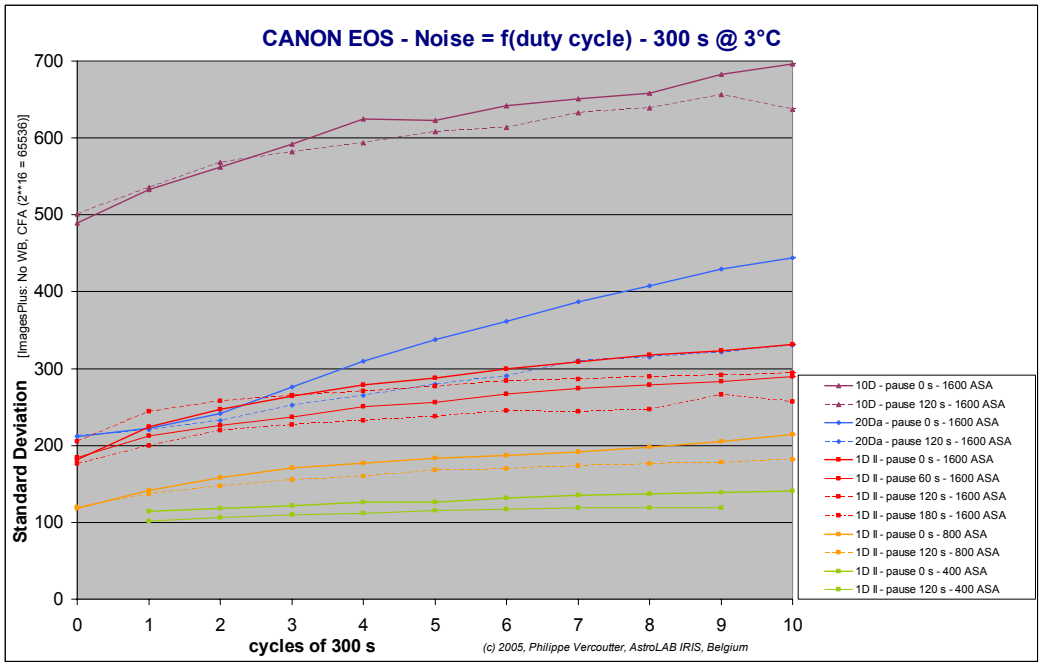


Figure 39 Het effect van het inlassen van pauses bij 5-minuten-opnames op het ruisniveau van CANON EOS-1D II en EOS-10D camera's.

© 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

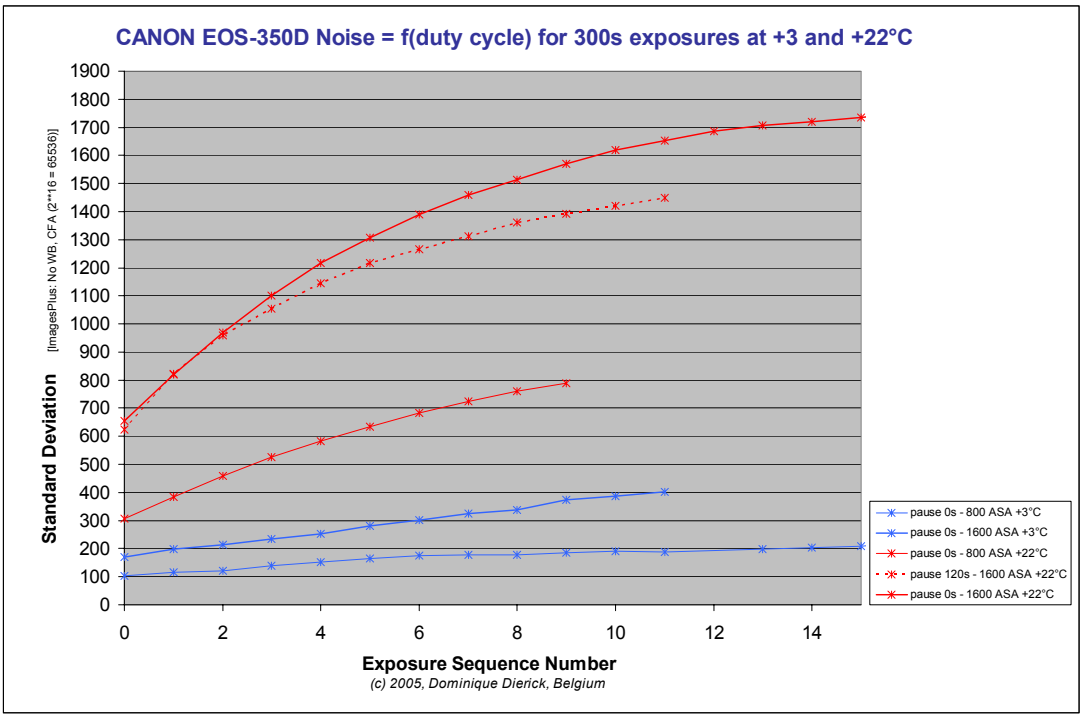


Figure 40 Overzicht van 800/1600 ASA ruiswaardes van de CANON EOS-350D (Rebel) mét en zonder intervalfotografie.

Deze grafiek geeft voor een koude en warme temperatuur weer op welk niveau de ruis van een CANON EOS-350D ligt en welk effect men kan bereiken door het toepassen van intervalfotografie. © 2005, Dominique Dierick, België.

Dé hamvraag is nu natuurlijk : '*Wanneer is het zinvol om pauses in te lassen en hoelang moeten die pauses zijn ?*'. Om proberen een antwoord te formuleren werd onderstaande grafiek opgesteld. Ze is niet zo gemakkelijk te begrijpen. Indien je het te moeilijk vind, onthou gewoon dat pausering in de meeste gevallen zinvol is, en ga verder naar de volgende sectie van de tekst.

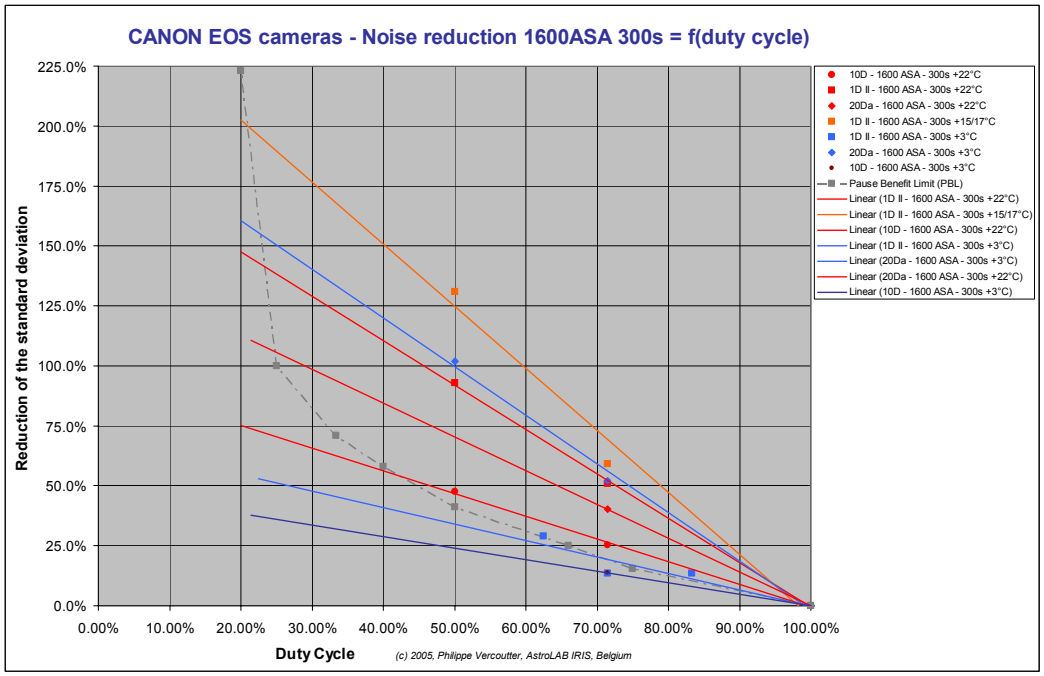


Figure 41 Ruiswinst of -verlies bij intervalfotografie met diverse CANON EOS camera's (PBL-curve).

Deze grafiek is wat moeilijker dan de overige maar bevat heel interessante informatie. De X-as geeft de duty cycle in % (duty cycle = 50% is evenveel pauseren als fotograferen; 100% is niet pauseren en voortdurend fotograferen). Op de Y-as vinden we terug hoeveel ruis je vermijdt door op die bepaalde duty cycle te werken. Bijvoorbeeld: neem het bovenste oranje vierkantje: bij de EOS-1D II kun je door een duty cycle van 50% te hanteren bij 1600 ASA, 300 seconden belichtingstijd en 15/17°C tot bijna 130% ruistoename vermijden.
De grafiek toont ook een grijze streepjeslijn. We noemen deze de Pause Benefit Line (PBL). Ze geeft weer hoeveel ruiswinst je via pausering minstens moet halen om te zorgen voor een positief effect (tijdens het pauseren ontvang je immers geen signaal meer en bijgevolg is de SNR wat lager dan dat wat je had kunnen bekomen door continu te fotograferen). Of anders gezegd: wanneer een gekleurd puntje BOVEN de grijze streepjeslijn ligt doe je winst door te pauseren. Bijvoorbeeld: duty cycle = 50%, dan moet je via pausering de ruis minstens met 41% naar beneden krijgen want had je gewoon verder gefotografeerd, zonder pausering dus, dan had je ook de SNR verhouding kunnen verbeteren met een factor 1,41.
Als regel kan ook worden gesteld dat duty cycles beneden de 25% in principe nooit zijn aangewezen. Je kunt ook stellen dat een duty cycle van grofweg 70% gebruiken nooit slecht is en meestal een significante winst oplevert. Is de temperatuur echter heel laag, bijvoorbeeld 3°C, dan moet je niet echt meer pauseren (zie de blauwe lijnen voor de EOS-10D en EOS-1D II) tenzij je de EOS-20Da gebruikt: gebruik je dan een duty cycle van 50%, dan kun je zeker een ruistoename van maar liefst 100% vermijden.
Kijk ook eventjes naar de oranje lijn: deze werd opgenomen rond de 16°C. Het blijkt dat pausering dan nog effectiever is dan bij bijvoorbeeld 22°C. Aangezien we het hier hebben over percentages zal het dus zo zijn dat bij bijvoorbeeld 16°C de warmte relatief beter kan worden afgevoerd dan bij de warmere 22°C: in dergelijk geval wordt er zoveel warmte gegenereerd dat pausering relatief minder helpt. In feite komen we hier tot de conclusie dat voor de meeste nachten, met zeg maar een temperatuur van zo'n goede 10 graden, pausering tot zeer significante verminderingen van het ruisniveau zal leiden.

☞ Laat je niet vangen door bovenstaande grafiek: de grafiek geeft aan wanneer pausering in welke situatie effectief is. Het is dus zeker niet zo dat omdat de oranje curve boven de blauwe en rode curves liggen dat er in absolute termen méér ruis zou zijn bij 16°C dan bij 3°C of 22°C! Het is wel zo pauseren zeer effectief is bij 16°C: je kunt er ruistoenames tot 100% mee vermijden.

Gebruik van geforceerde koeling

Er zijn diverse manieren te bedenken om de temperatuur van de camera, en dus ook de detector binnenin, kunstmatig naar beneden te halen. We geven hier 3 concrete voorbeelden:

1) het werken met zo geheten *cold packs* (bijv. gels die men in de diepvries legt en nadien in een thermische zak rond de camera aanbrengt; das eenvoudig te regelen én effectief);
2) het werken met een gewone ventilator gericht op het LCD-scherm (is goedkoop en effectief; wel oppassen voor trillingen);
3) het werken met Peltier koelelementen. Ik verwijs hierbij naar de website van de Australische amateur-astronoom Terry Lovejoy[29].

Hoe positief geforceerde koeling op de ruisvorming kan zijn mag blijken uit onderstaande grafieken.

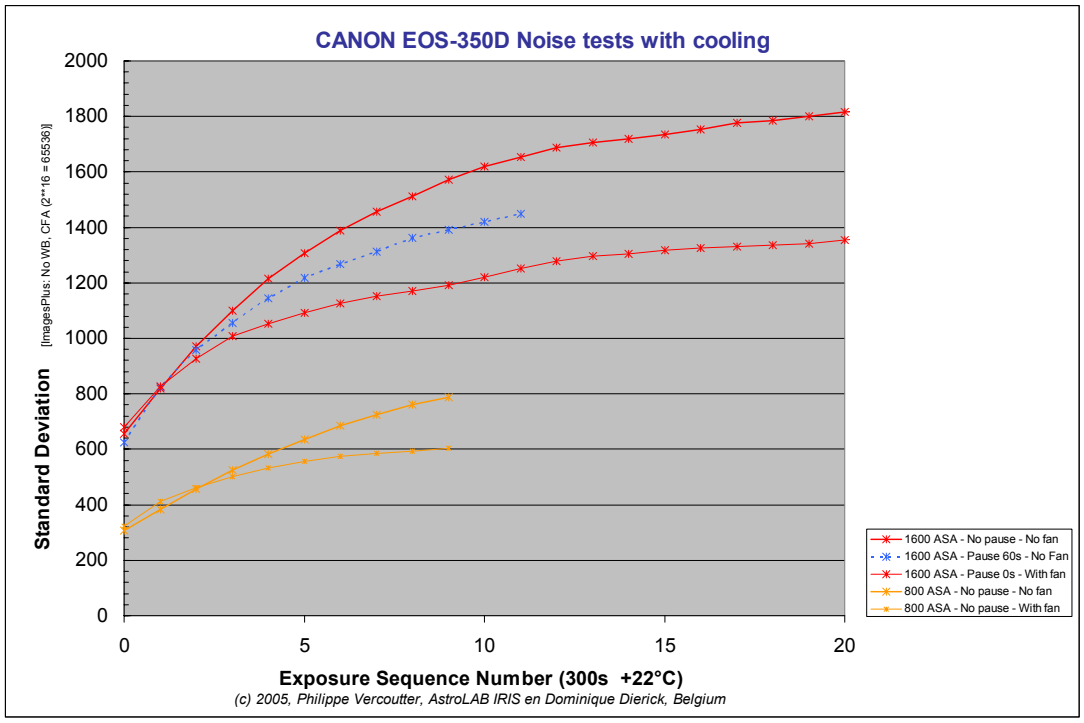


Figure 42 Invloed van een ventilator op de ruisvorming van een CANON EOS-350D.

Eenvoudigweg een ventilator richten op een digitale camera kan al een heel stuk bijdragen om de ruis onder controle te krijgen. Zoals uit deze voorbeelden blijkt kan men tot 25% minder ruis bekomen. De dikke lijnen stellen de ruis voor indien men zonder ventilator werkt, de dunne wanneer met een ventilator werkt. Als vergelijking staat er ook nog het geval weergegeven waarbij men 120 s pause neemt. We zien dus dat in dit geval het gebruik van een ventilator effectiever is dan een duty cycle van 76% te hanteren. © 2005, Dominique Dierick, België.

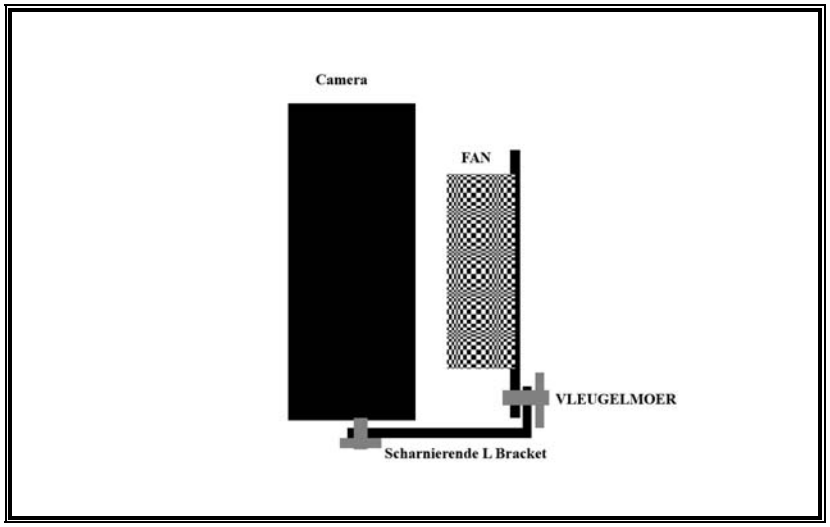


Figure 43 Voorbeeld van een eenvoudige installatie van een ventilator op een digitale camera.

Iedere digitale camera heeft een voorziening om die vast te kunnen zetten op bijvoorbeeld een statief. Hiertoe draait men een schroef in de daartoe speciaal getapte draad aan de onderkant van de camera. Tussen deze schroef en de bodem van de camera kan men een L-profiel aanbrengen waarop men een kleine ventilator kan vastmaken met behulp van een vleugelmoer. © 2005, Dominique Dierick, België.



Figure 44 Voorbeeld van een cold pack.

Een cold of hot pack kun je bijvoorbeeld bij een apotheker kopen. Het is een plastieken verpakking die een gelachtige substantie bevat (kostprijs: ongeveer 9 euro). Normaal worden dergelijke middelen gebruikt om de pijn te verzachten, maar het kan ook de CANON EOS ruispijn verzachten. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.



Figure 45 Voorbeeld van een set 3M Nexcare ColdHot packs.

Een 3M Nexcare ColdHot pack wordt standaard geleverd met een linnen zakje met spanband. De coldpack wordt in dit zakje gedaan en met behulp van de elastistische spanband op de LCD op de rug van de EOS vastgehecht. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.



Figure 46 Illustratie van hoe men een coldpack kan aanbrengen op een EOS body.

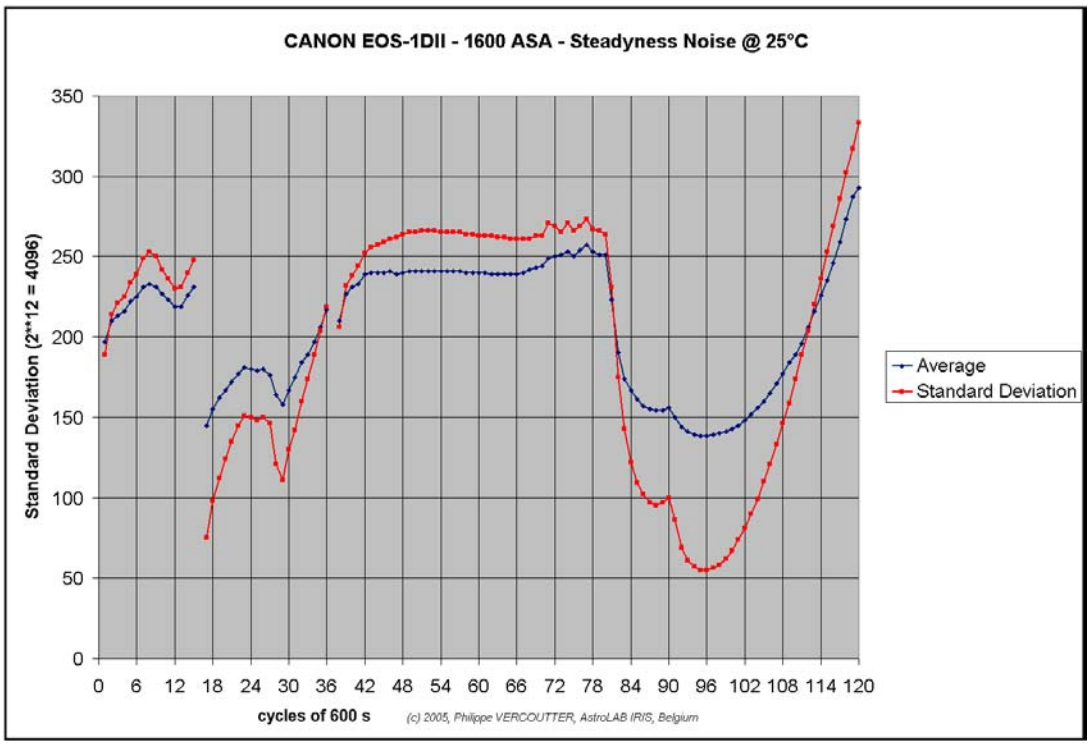


Figure 47 Het effect van het toepassen van cold packs op het ruisniveau.

De grafiek toont het niveau van ruis voor niet minder dan 120 cycli van 10 minuten bij een relatief hoge omgevingstemperatuur van 25°C (de test duurde dus zo maar eventjes 20 uren !). De eerste 16 cycli werden er geen cold packs toegepast. De standaard deviatie varieerde tussen de 180 en 260 (op een schaal van 2^{12} – de andere grafieken zijn allemaal op een schaal van 2^{16}). Toen werd een eerste maal een cold pack toegepast : de ruis daalde naar een niveau dat zeker 4X lager lag (tot rond de 70). Nadien nam de temperatuur en ruis blijkbaar weer toe tot het ergens zich stabliseerde op een niveau van ongeveer 270. Bij cyclus 80 werd vooor een tweede keer, en bij cyclus 90 voor een derde keer tenslotte, opnieuw een cold pack toegepast. Het effect van deze ingrepen liet het ruisniveau terugvallen tot op de onwaarschijnlijke waarde van slechts 50. Vanaf cyclus 96 werd er niks meer veranderd aan de camera: die bleef met de cold pack in de thermische zak zitten. Toen deze cold pack uitgewerkt was, had de thermische zak uiteraard een negatief effect: de temperatuur bleef maar toenemen tot op een niveau dat lag nabij de 350 toen de test werd afgebroken. Als de cold pack is uitgewerkt moet je de thermische verpakking wegnemen, zoveel is duidelijk. Deze unieke grafiek illustreert heel duidelijk hoe temperatuursgevoelig een dergelijke digitale reflexcamera wel is. Merk tenslotte ook op dat het bij een omgevingstemperatuur van 25°C wel gemakkelijk een anderhalf uur duurt vooraleer het laagste ruisniveau wordt bereikt na het toepassen van een cold pack. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

Grafieken kunnen dan wel cijfermatig het een en het ander aantonen, mensen zien toch altijd graag alles geïllustreerd met echte opnames. Dit doen we hieronder. De eerste opname toont een scène opgenomen in een donkere kamer. De kamertemperatuur bedroeg 20°C. De scène werd verlicht door een heel klein rood lampje. Van deze scène werden eerst 12 opeenvolgende opnames van 5 minuten bij 1600 ASA gemaakt zonder koeling. Na calibratie en *adaptive add stacking* (later meer over deze methode van frames samennemen) leverde dit de eerste van onderstaande foto's op. Indien we nu hetzelfde doen maar na het aanbrengen van een cold pack op de rug van de CANON EOS-1D II, bekomen we de tweede onderstaande opname. De verschil in ruis is significant en valt onmiddellijk op. Eenmaal je deze resultaten hebt gezien fotografeer je nooit meer zonder coldpack, zoveel is duidelijk!



Figure 48 Een donkere scène opgenomen mét en zonder geforceerde koeling met een cold pack.

© 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

2.5.5. Gebruik van schaalbare darkframes & Noise Reduction

Wanneer we onze beeldjes calibreren, trekken we in principe een darkframe er van af. Hierdoor kun je hot pixels en dergelijke meer uit je opname verwijderen. Doordat de cameratemperatuur gedurende een opnamereeks alsmaar toeneemt, is het moeilijk een darkframe te maken die exact overeenstemt met deze specifieke temperaturen. Hierdoor komt het dat we niet langer zomaar een dark frame mogen aftrekken van een light frame, maar dat we eerst de dark wat zullen moeten herschalen (dit wil zeggen vermenigvuldigen met een bepaalde factor) vooraleer we deze van de light mogen aftrekken. We spreken dan van *schaalbare darks* en het proces noemen we *autoscaling* (omdat de calibratiesoftware zelfstandig een correcte factor afleidt).

Wat schaalbare darkframes concreet opleveren kunnen we leren uit onderstaande grafiek. Dat ze duidelijk superieur zijn aan de intern in de camera ingebouwde NOISE REDUCTION, valt ook goed uit de grafiek te lezen.

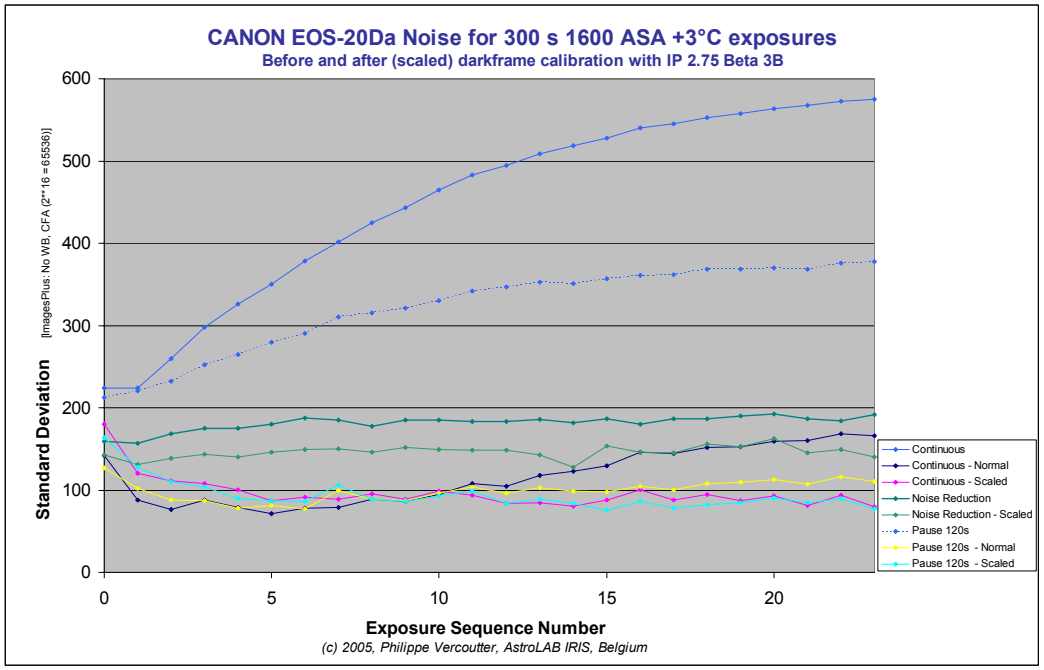


Figure 49 Het effect van het gebruik van pausering, autoscaling en noise reduction geïllustreerd aan de hand van een CANON EOS-20Da.

In dit concrete scenario werd de minste ruis bekomen door het werken met een pausering van 120s en het toepassen van autoscaling. © 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

	Som Std. Dev.	Gemiddelde Std. Dev.
Continue	10802.38	450.10
Continue – Normaal	2803.15	116.80
Continue – Scaled	2318.27	96.59
Noise Reduction	4356.76	181.53
Noise Reduction - Scaled	3508.77	146.20
Pause 120s	7851.06	322.11
Pause 120s – Normaal	2380.88	99.20
Pause 120s - Scaled	2246.39	93.60

Table 5 Het effect van het gebruik van pausering, autoscaling en noise reduction geïllustreerd aan de hand van een CANON EOS-20Da.

Uit deze tabel blijkt dat autoscaling een goede methode is om de ruis verder terug te dringen. Er blijkt ook dat door wat te pauseren de ruis nog een klein beetje extra kan teruggebracht worden (het levert reeds een winst op van zo'n 6% in dit concrete fotografiescenario; bij hogere omgevingstemperaturen zal dit verschil ongetwijfeld nog groter zijn).

2.6. Conclusies

Hierbij sommen we de volgens ons voornaamste conclusies & tips op die we hebben gevonden op basis van ons studiewerk en testen:

1) Ga voor één van de nieuwe generatie CANON EOS-toestellen (EOS-350D, EOS-1D II, EOS-20(a)). Deze toestellen genereren een derde tot de helft minder ruis.
2) Werk ten alle tijde in RAW mode: het dynamisch bereik is groter en de calibratie verloopt nauwkeuriger.
3) Doe op een of andere manier aan temperatuursbeheersing; alle geteste toestellen warmen gedurende de eerste 10 opnames sterk op; pas na een twintigtal opnames stabiliseert het geheel zich op een (te ?) hoog niveau.
4) De CANON EOS-20D(a) warmt heel snel op (in vergelijking met de EOS-350D bijvoorbeeld). Vooral bij deze camera is extra afkoeling zeker aangewezen.
5) Gebruik de volgende instellingen op je CANON EOS camera:
    a. LCD: OFF
    b. Miror Lock-up: ON
    c. Camera Time-Out: OFF
6) Zelf je opnames calibreren via darkframes en NOISE REDUCTION = OFF levert de beste resultaten op. Indien je geen calibratie wil doen en dus onmiddellijk je beeldjes wil stacken, kies pas dan voor NOISE REDUCTION = ON.
7) De drie geteste koelmethodes (intervalfotografie, ventilator en cold packs) leiden allemaal tot significant betere resultaten. De allersterkste daling werd opgemeten door te werken met cold packs. Een ventilator helpt zeker ook. Intervalfotografie op zich is ook een optie: gemakkelijk te doen en vergt in principe geen toebehoren. Ventilator en/of cold pack in combinatie met pausering moeten in principe leiden tot spectaculaire dalingen in het ruisniveau.
8) Indien je voor intervalfotografie gaat, kies dan als vuistregel voor een duty cycle van 70%. In het geval het écht heel warm is en je werkt op 1600 ASA, verminder dat dan zelfs tot 50%. Doorfotograferen is misschien wat je denkt te moeten doen, maar de testen wijzen op het tegendeel. Raadpleeg de PBL-curve's.
9) Zorg er voor dat je camera vooraleer je de opnames start al goed afgekoeld is (net zoals je dit al doet voor je optisch systeem). Is het niet té vochtig buiten, plaats dan je EOS voordien al in de frigo.
10) Doordat je de temperatuur nooit 100% onder controle hebt (de bekomen ruiscurves zijn nooit helemaal lineair), moet je scaling van darkframes toepassen. Dit komt beschikbaar in ImagesPlus 2.75 en bestaat al in MaximDL.
11) Opnames zijn het best te calibreren vooraleer je overschakelt naar kleur. Calibratie dient dus te gebeuren aan de hand van monochrome RAWS (optie « No White Balance, CFA » in ImagesPlus).

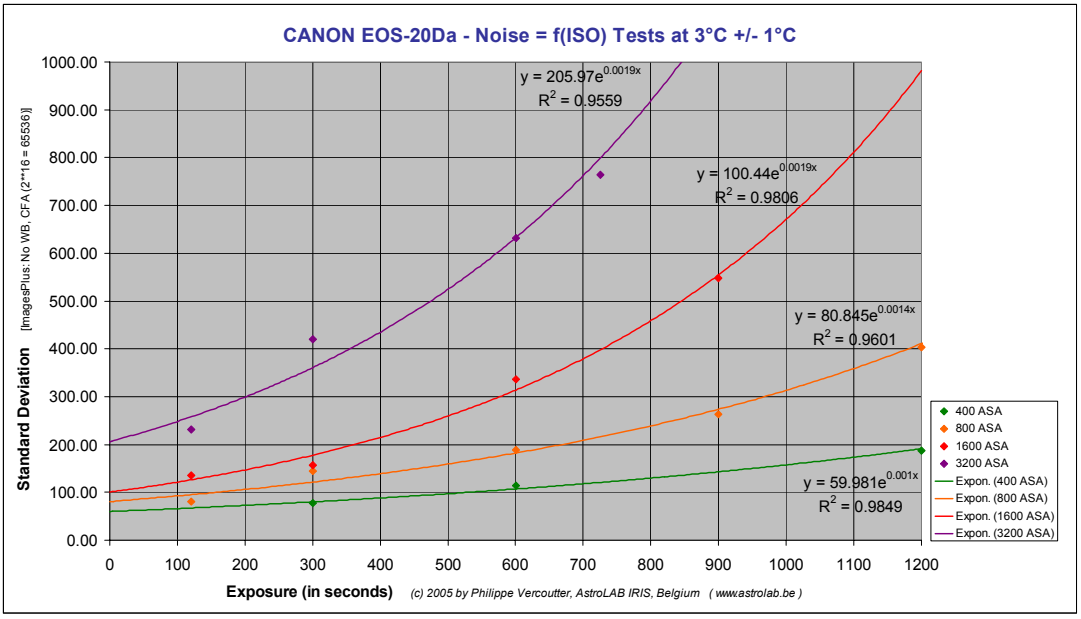
12) Raadpleeg deze tabel om de optimale belichtingstijden te kennen. Boven en onder deze belichtingstijden daalt de SNR. In de linkerkolom staat het type camera weergegeven dat werd gebruikt om de optimale belihctingstijd bij die bepaalde omgevingstemperatuur te bepalen. In principe mag je de opgegeven waarden ook gebruiken voor de andere EOS toestellen, voor zover deze van de nieuwe generatie zijn (20D, 350D, 1D II, 20Da, …). In lichtverontreinigde gebieden zal het moeilijk zijn deze belichtingstijden te halen; probeer is die gevallen toch de belichtingstijd zo lang mogelijk te maken. Ben je op een zeer donkere lokatie, overschrijdt de onderstaane waardes niet.

Type	Temperatuur	ASA	Optimum
20Da	3°C	400	16 minuten
		800	12 minuten
		1600	**9 minuten**
		3200	10 minuten
1D II	22°C	400	11 minuten
		800	7 minuten
		1600	**5 minuten**

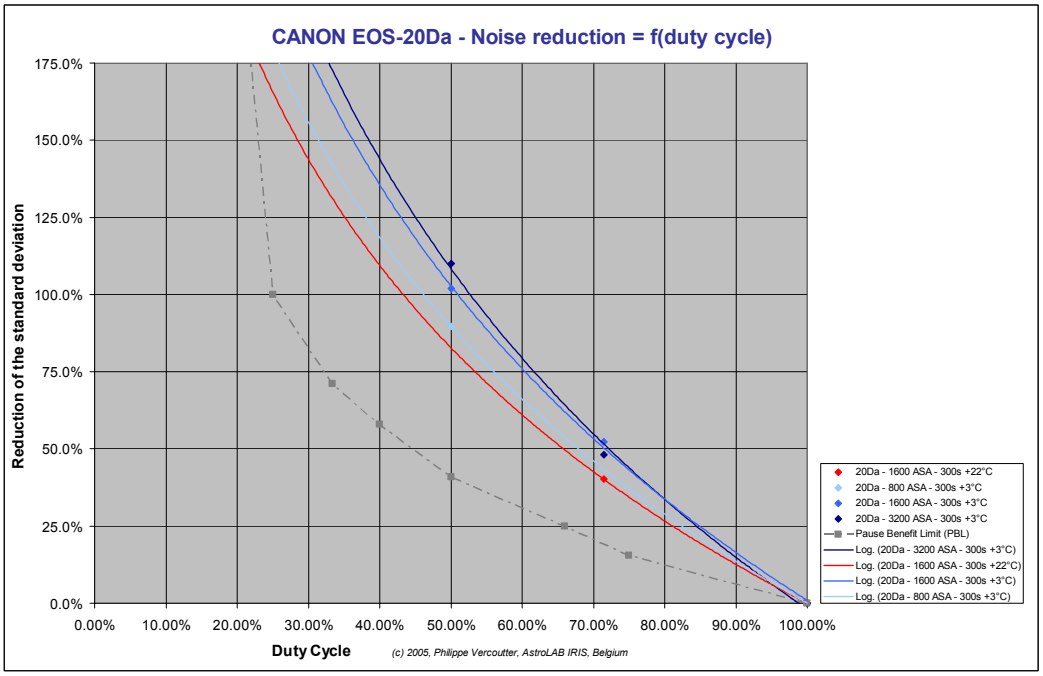
3. Referenties: CANON EOS Facts & Figures

3.1. CANON EOS-20Da

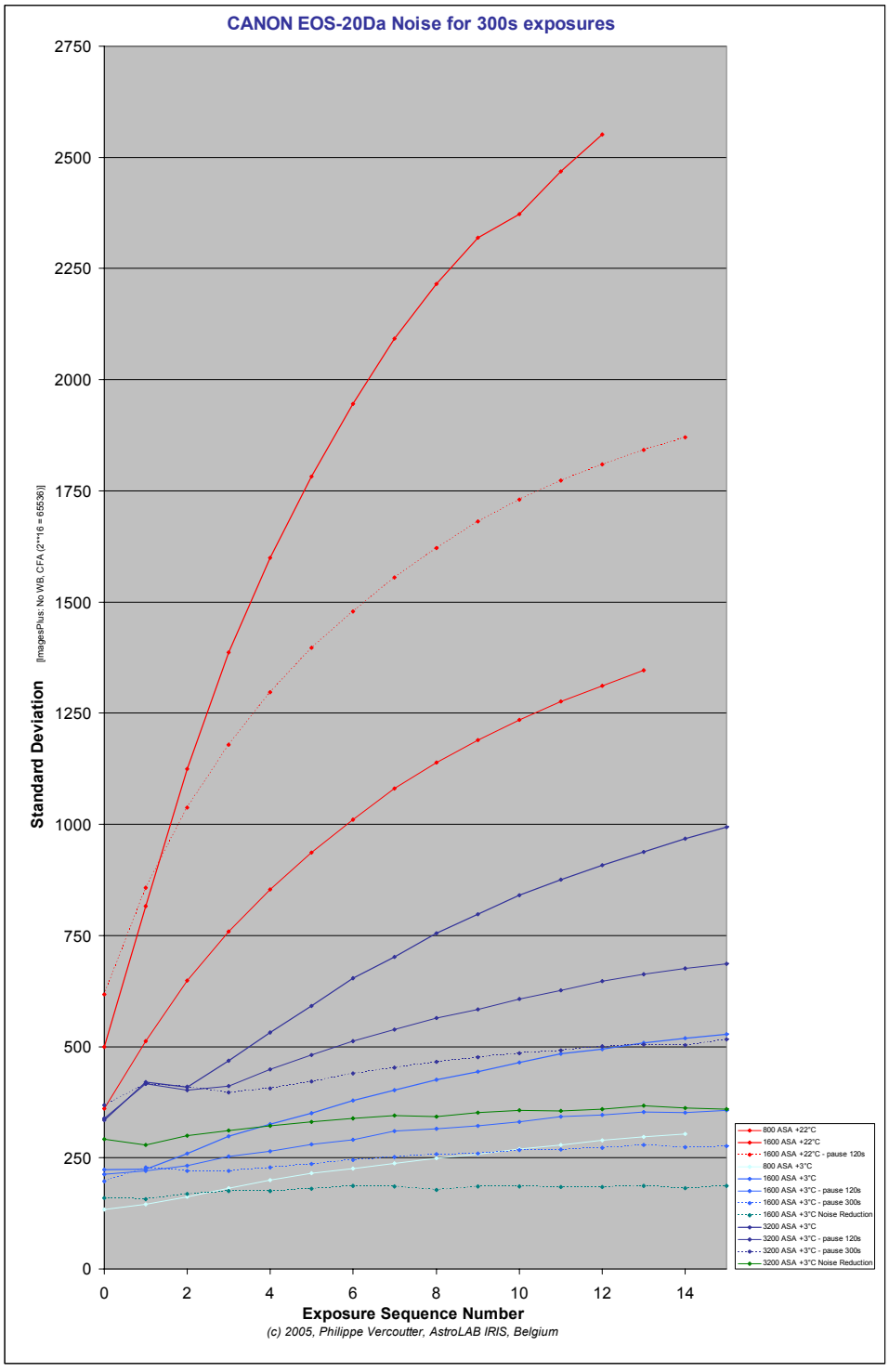
3.1.1. ISO Curves +3°C



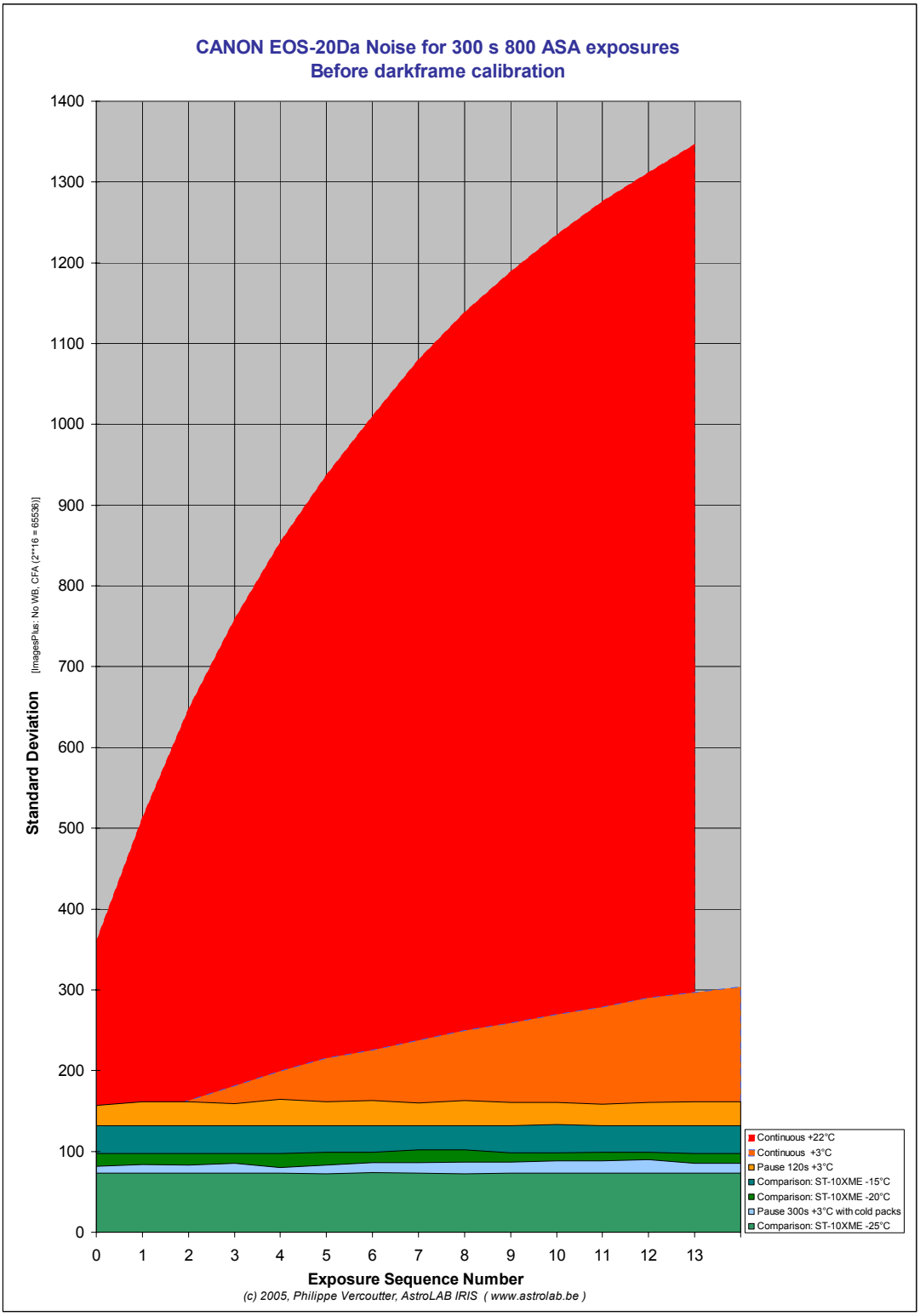
3.1.2. Pause Benefit Curve (5 min)



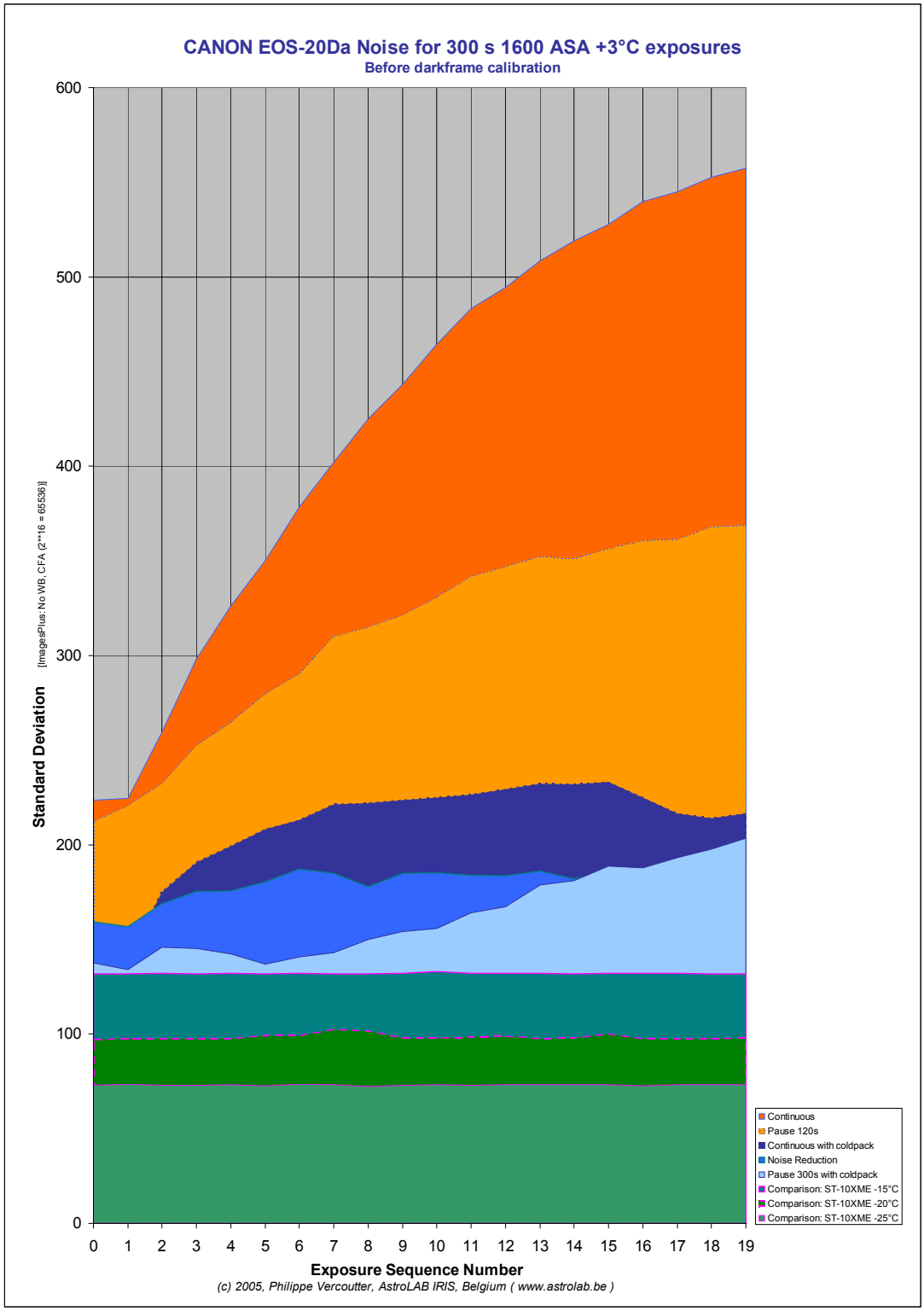
3.1.3. Ruiscurves: 5 min 3/22°C



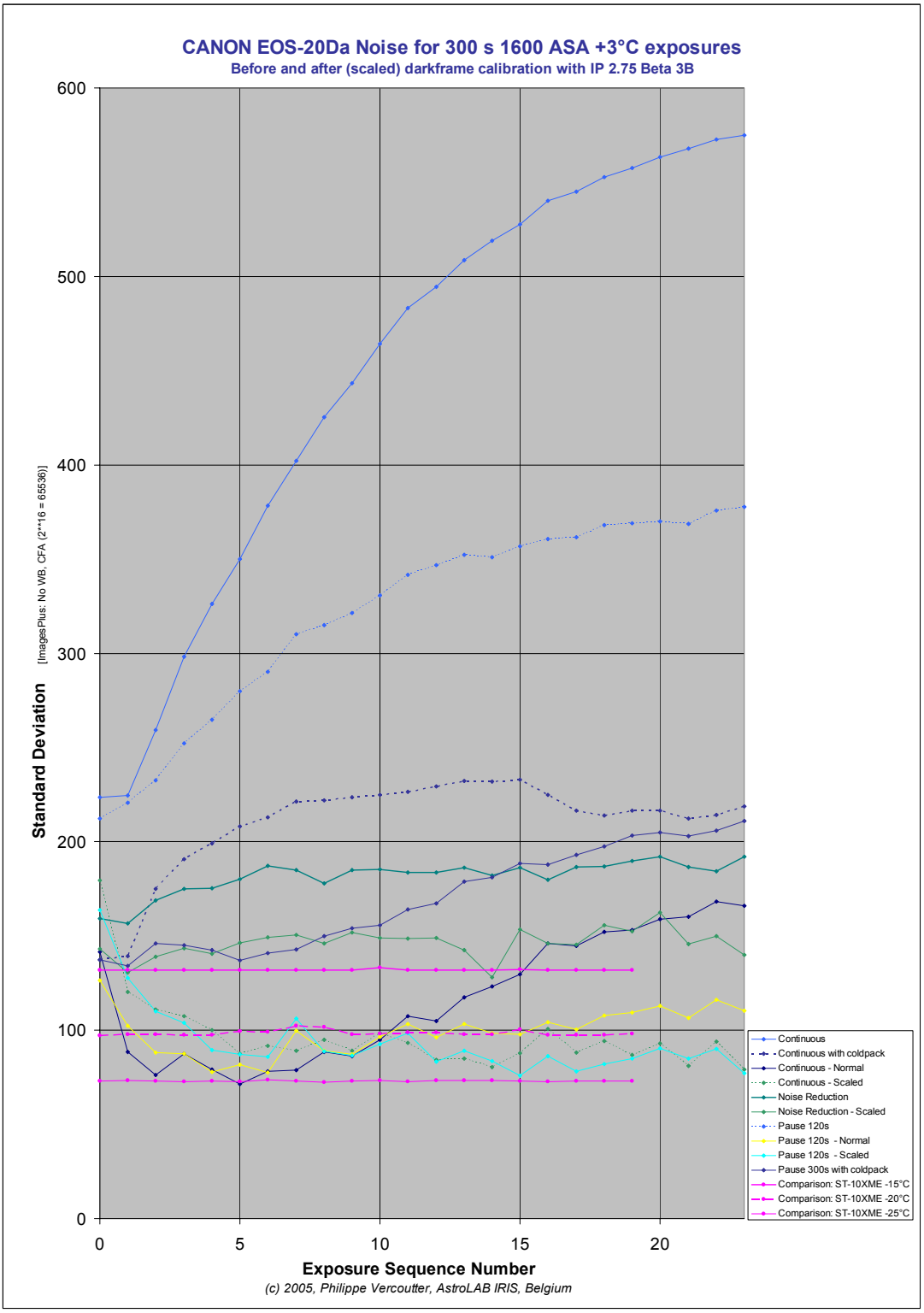
3.1.4. Ruiscurves: 5 min 3/22°C 800 ASA



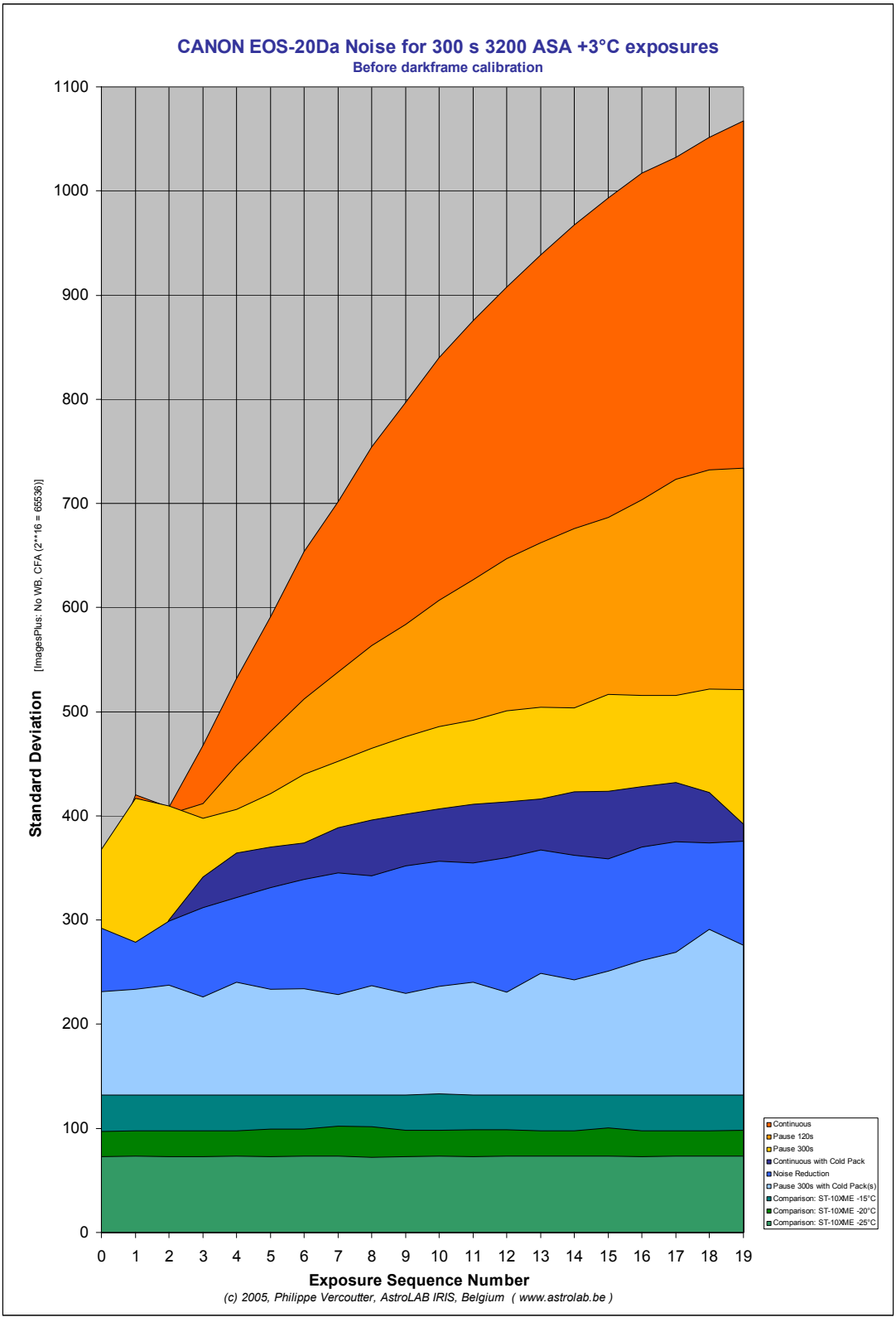
3.1.5. Ruiscurves: 5 min 3°C 1600 ASA



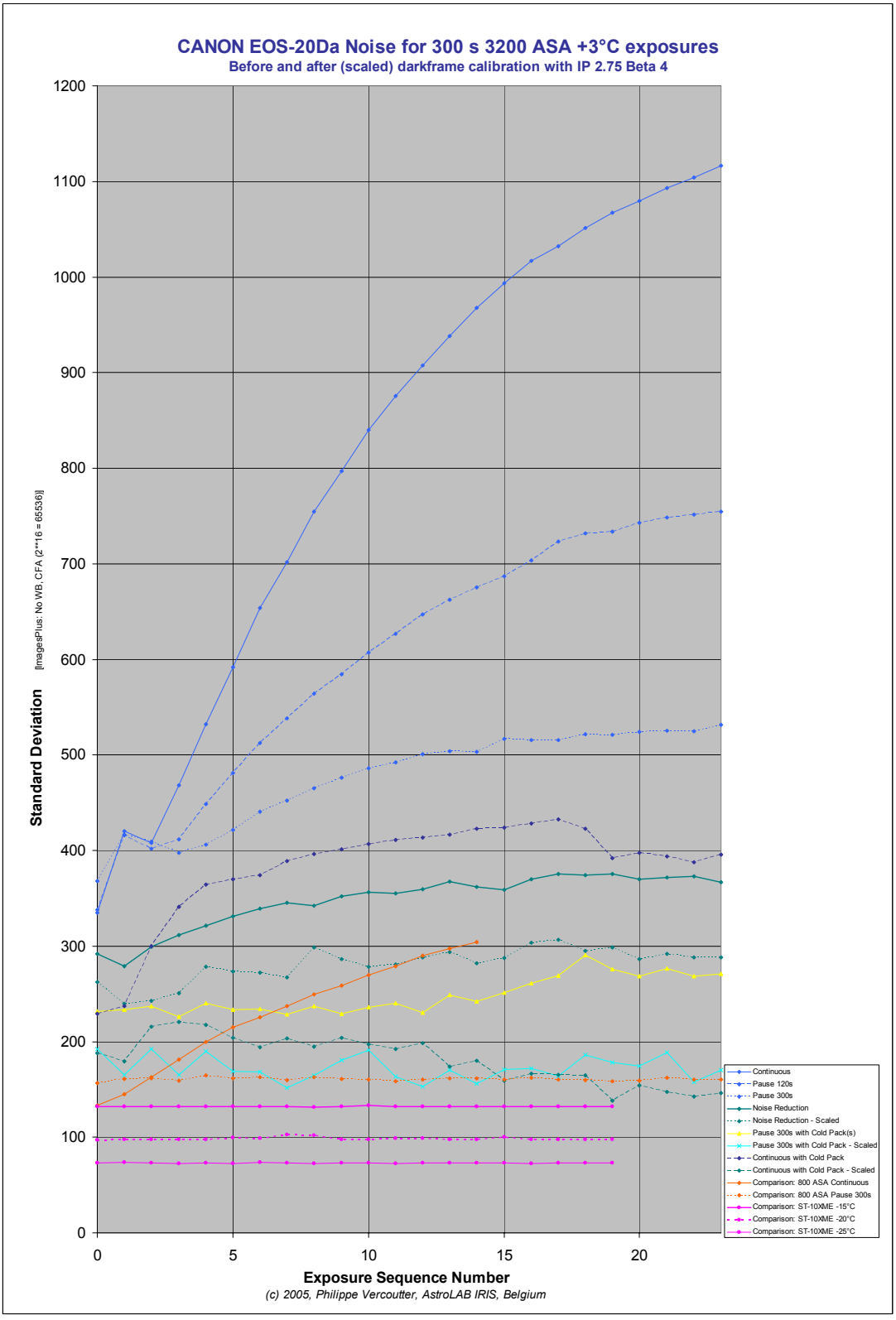
3.1.6. Ruiscurves: 5 min 3°C 1600 ASA gecalibreerd



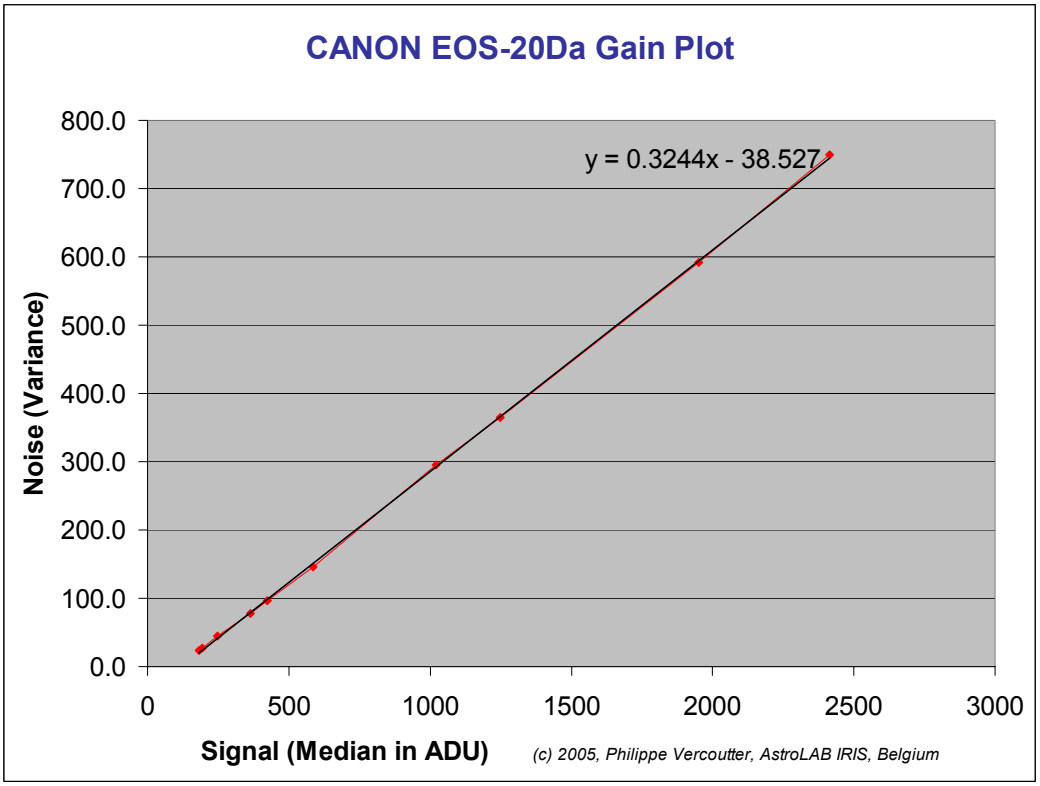
3.1.7. Ruiscurves: 5 min 3°C 3200 ASA



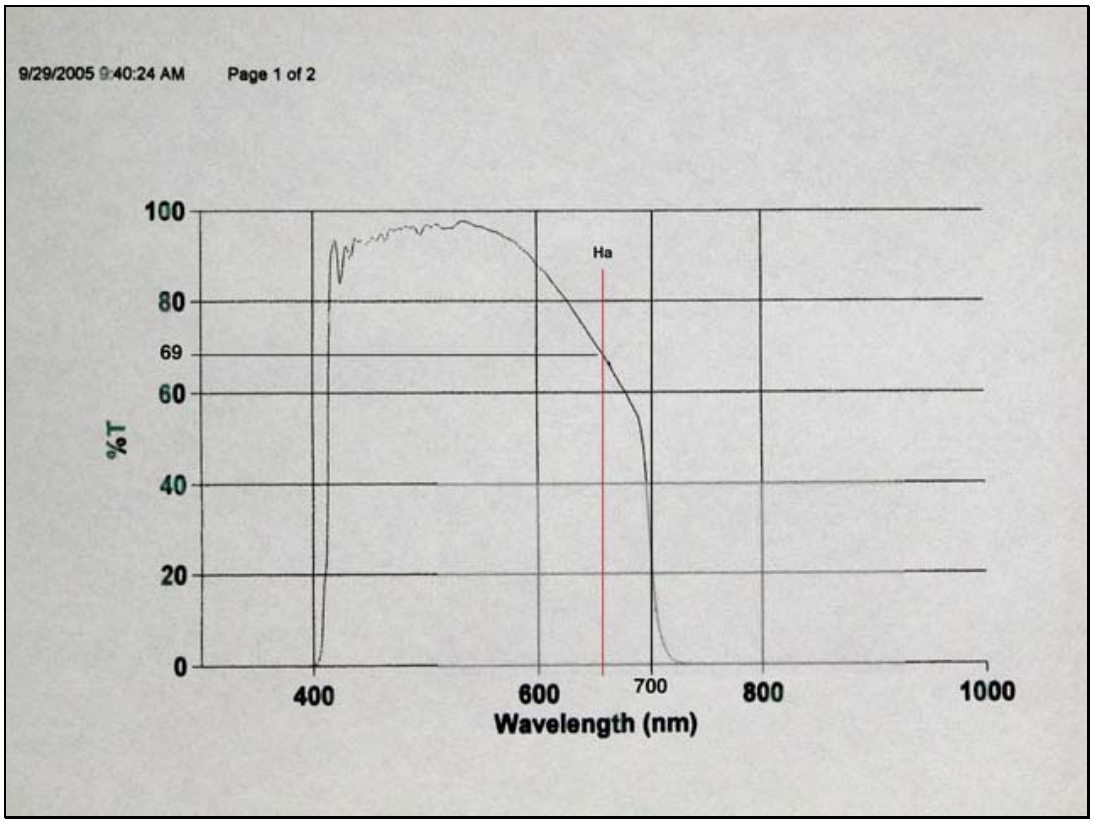
3.1.8. Ruiscurves: 5 min 3°C 3200 ASA gecalibreerd



3.1.9. Photon Transfer Curve - Versterkingscurve

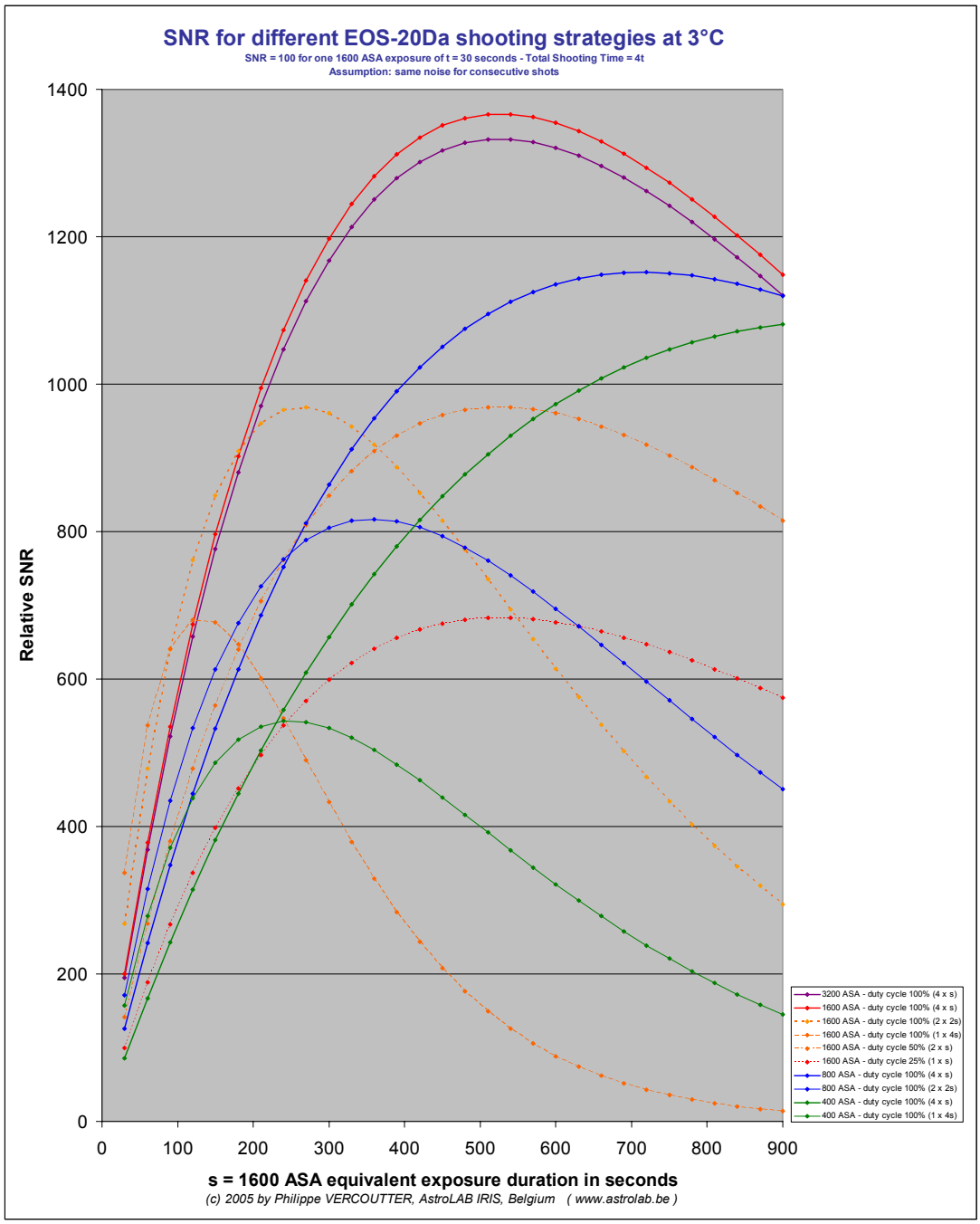


3.1.10. Doorlaatcurve IR Cut-Off filter

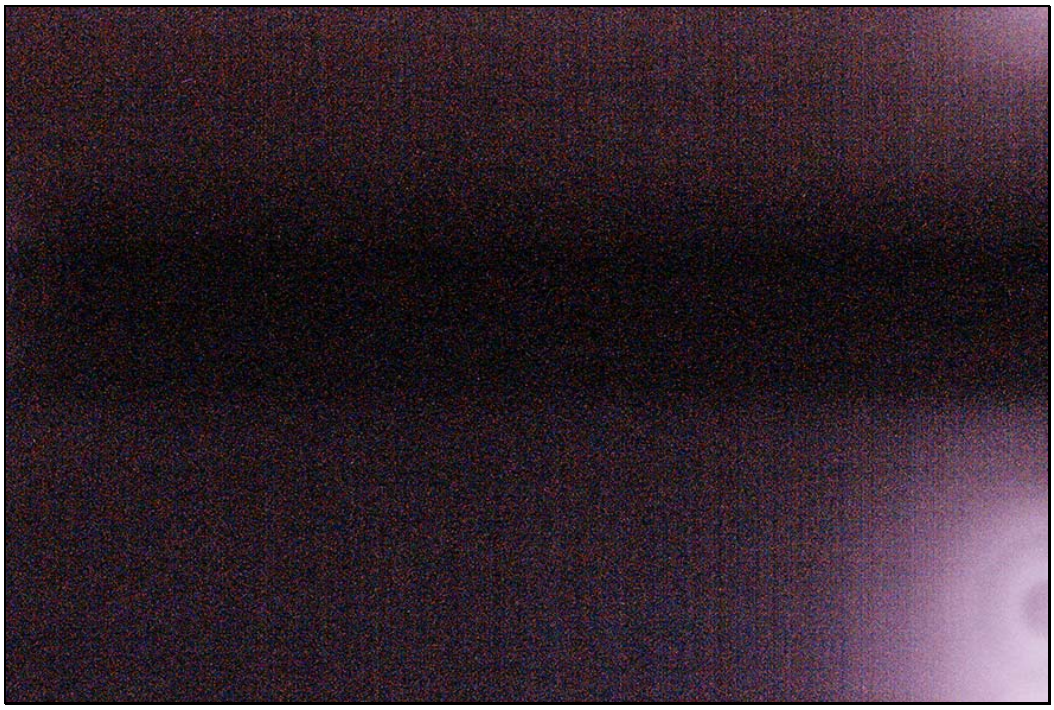


Bron: privé correspondentie met Chuck Vaughn. De metingen gebeurden aan de hand van een filter dat werd gedemonteerd uit een CANON EOS-20Da en uitgemeten met een fotospectrometer op het Lawrance Livermore National Labs.

3.1.11. SNR voor diverse strategiën



3.1.12. Amplifier Glow



Dit is een voorbeeld van een typische amplifier glow ruis voor de CANON EOS-20Da. Het beeld kwam tot stand door het samenbrengen van 24 darkframes opgenomen bij 3200 ASA en 3°C, 5 minuten belichtingstijd, 5 minuten pause en bij gebruik van een cold pack. De frames werden gestackt via adaptive add in ImagesPlus 2.75 Beta 4 en via DDP bewerkt om een goede stretching te bekomen. De DDP limieten bedroegen respectievelijk 0 en 280 (op een totale schaal van 2^{16}). Er komen duidelijk 3 grote horizontale banden naar voor. Voorts merken we onderaan rechts duidelijk concentrische lichtcirkels aan, en bovenaan rechts nog een (zij het een veel zwakkere).
©2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

3.1.13. Voorbeeldopnamen

In de Astronomische Beeldendatabank ASTRID kan de lezer een aantal astrofoto's vinden die zijn gemaakt met een CANON EOS-20Da. Ziehier de rechtstreekse link naar deze foto's: http://cohesion.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=20Da&search_level=1 .



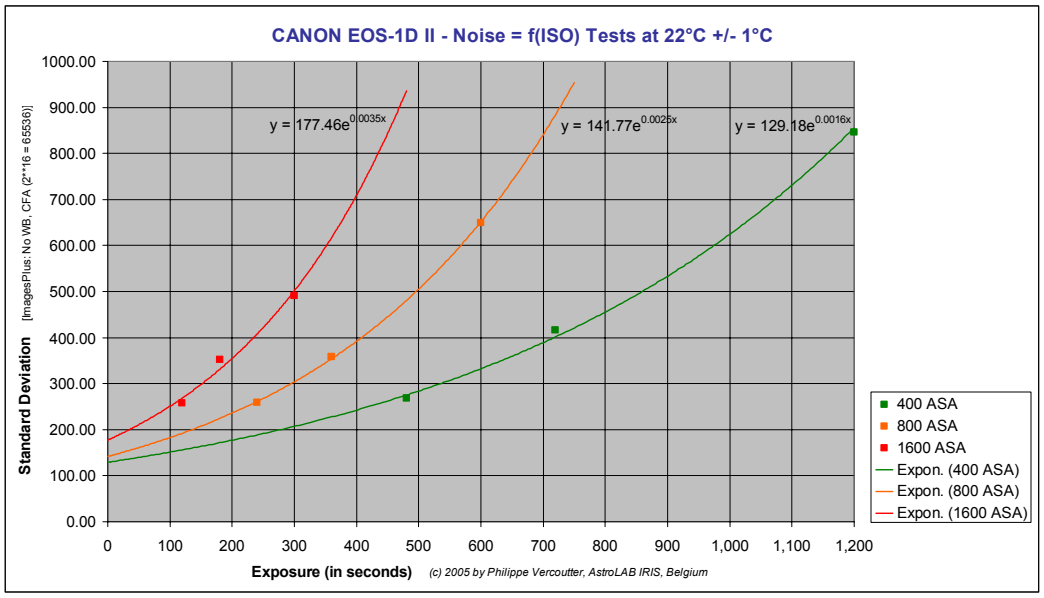
Fotograaf :	Philippe Vercoutter [e-mail] [website]
Bestandsinfo :	JPG, 501 KB
Instrument :	Astro-Physics 155 EDFS
Instrument type :	Apochromaat
Diameter :	155.0 mm
Effectieve f ratio :	f / 7.0
Toebehoren :	Astro-Physics field-flattener
Detector :	CANON EOS-20Da
Belichting :	12 x 300s @ 1600 ASA (120s pause)
Locatie :	Talma, Grandpre, France
Datum :	2005-10-31
Copyright :	(c) 2005 by Philippe VERCOUTTER
Online sinds :	2005-11-03 17:31:26.0 LT



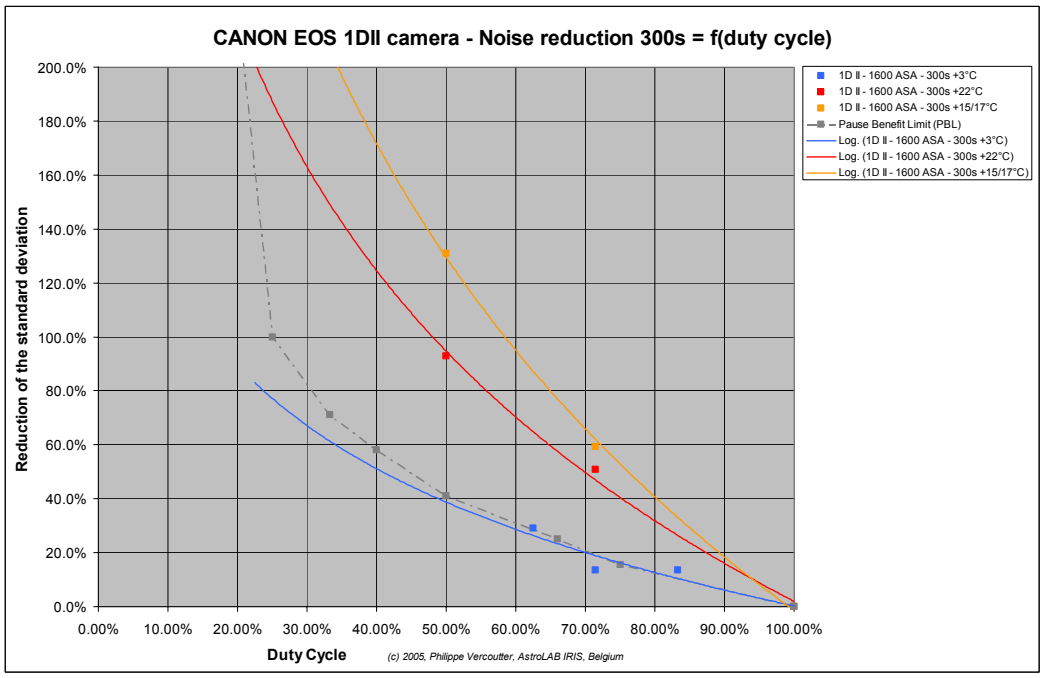
Fotograaf :	Chuck Vaughn [e-mail] [website]
Bestandsinfo :	JPG, 357 KB
Instrument :	AstroPhysics 155EDF
Instrument type :	Apochromaat
Diameter :	155.0 mm
Toebehoren :	0.73X Telecompressor
Filters :	Hutech Type I Filter
Detector :	Hutech CANON EOS-20Da
Belichting :	28 x 10 minutes @ ISO 800
Locatie :	Mountain Ranch, California, USA
Datum :	2005-10-09
Copyright :	(c) 2005 by Chuck VAUGHN
Online sinds :	2005-11-09 19:27:56.0 LT

3.2. CANON EOS-1D Mark II

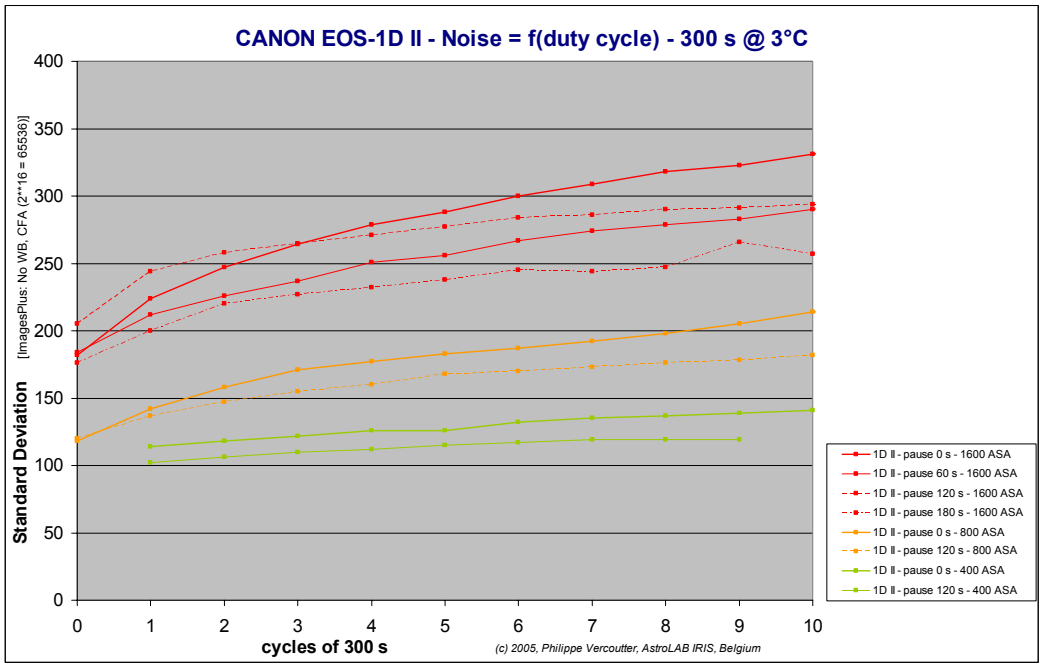
3.2.1. ISO Curves +22°C



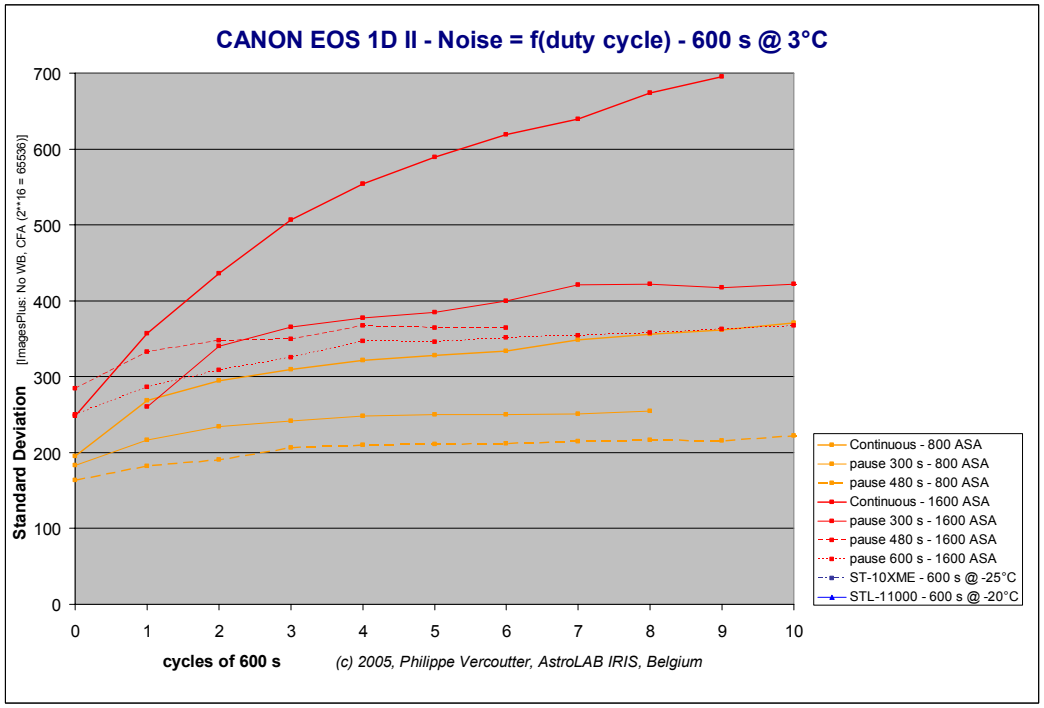
3.2.2. Pause Benefit Curve (5 min)



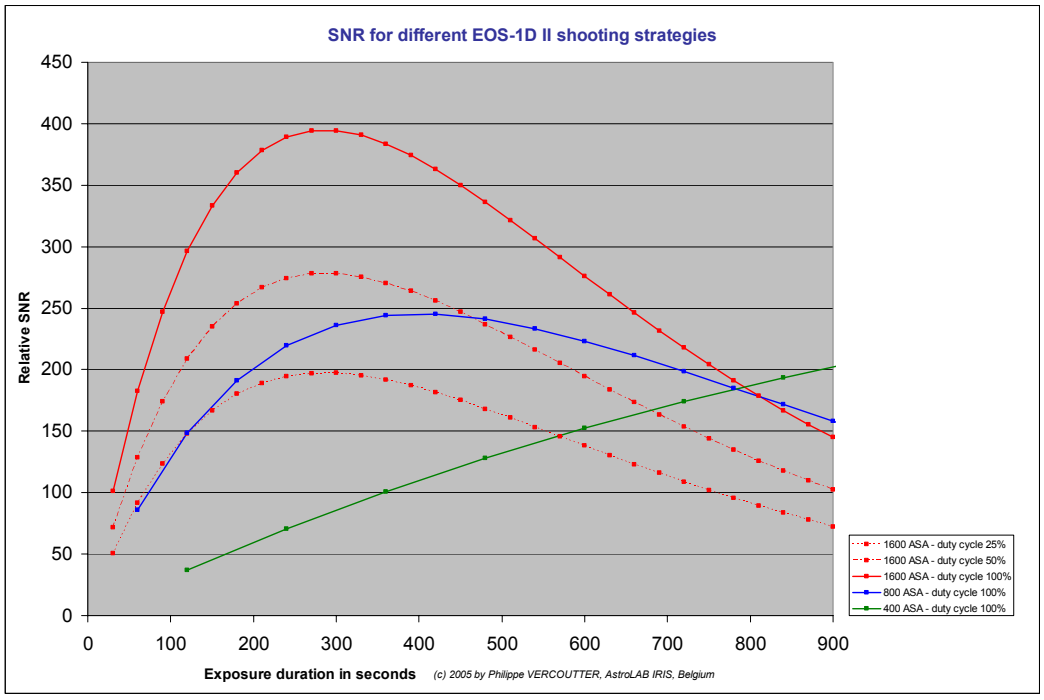
3.2.3. Ruiscurves: 5 min 3°C



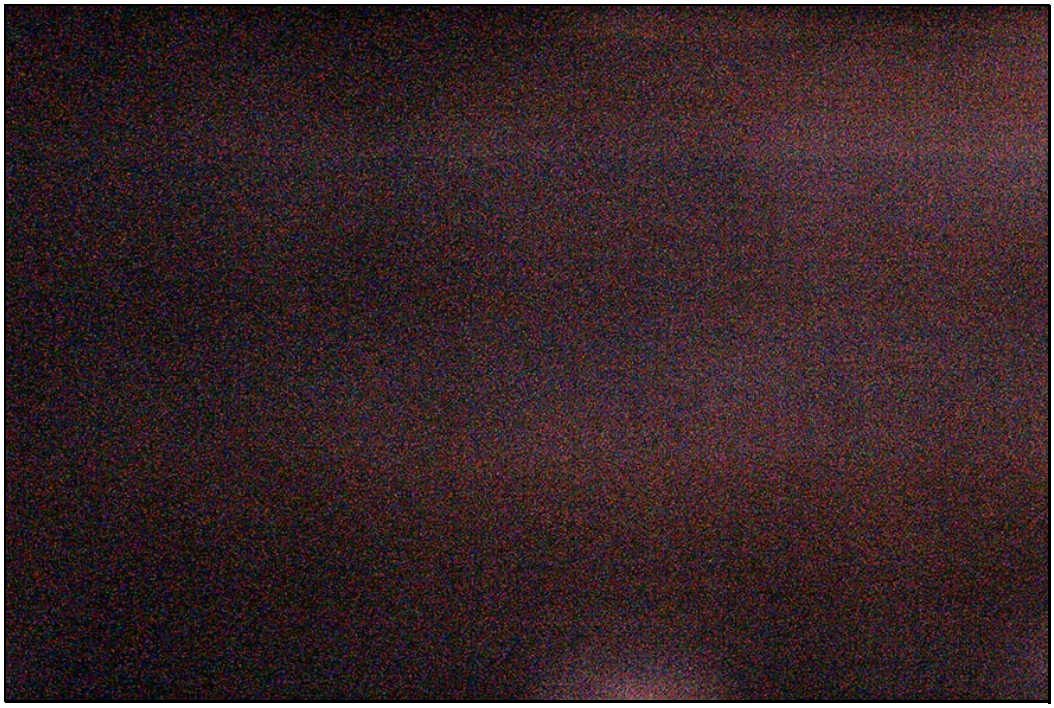
3.2.4. Ruiscurves: 10 min 3°C



3.2.5. SNR voor diverse strategiën



3.2.6. Amplifier Glow



Dit is een voorbeeld van een typische amplifier glow ruis voor de CANON EOS-1D II. Het beeld kwam tot stand door het samenbrengen van 26 darkframes opgenomen bij 1600 ASA, 3°C en 5 minuten belichtingstijd. De frames werden gestackt via adaptive add in ImagesPlus 2.75 Beta 4 en via DDP bewerkt om een goede stretching te bekomen. De DDP limieten bedroegen respectievelijk 0 en 275 (op een totale schaal van 2^{16}). We merken duidelijk 6 horizontale banden op en centraal onderaan één zwakke halve lichtcirkel.
©2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, België.

3.2.7. Voorbeeldopname

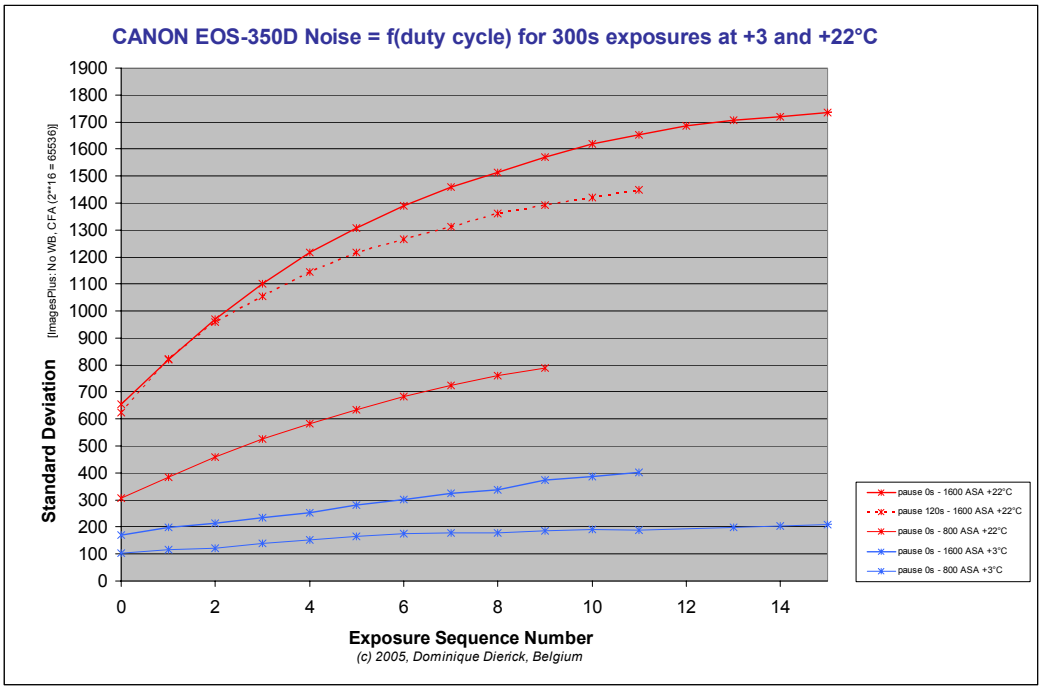
In de Astronomische Beeldendatabank ASTRID kan de lezer een aantal astrofoto's vinden die zijn gemaakt met een CANON EOS-1D Mark II. Ziehier de rechtstreekse link naar deze foto's: http://cohesion.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=EOS-1D&search_level=1 .



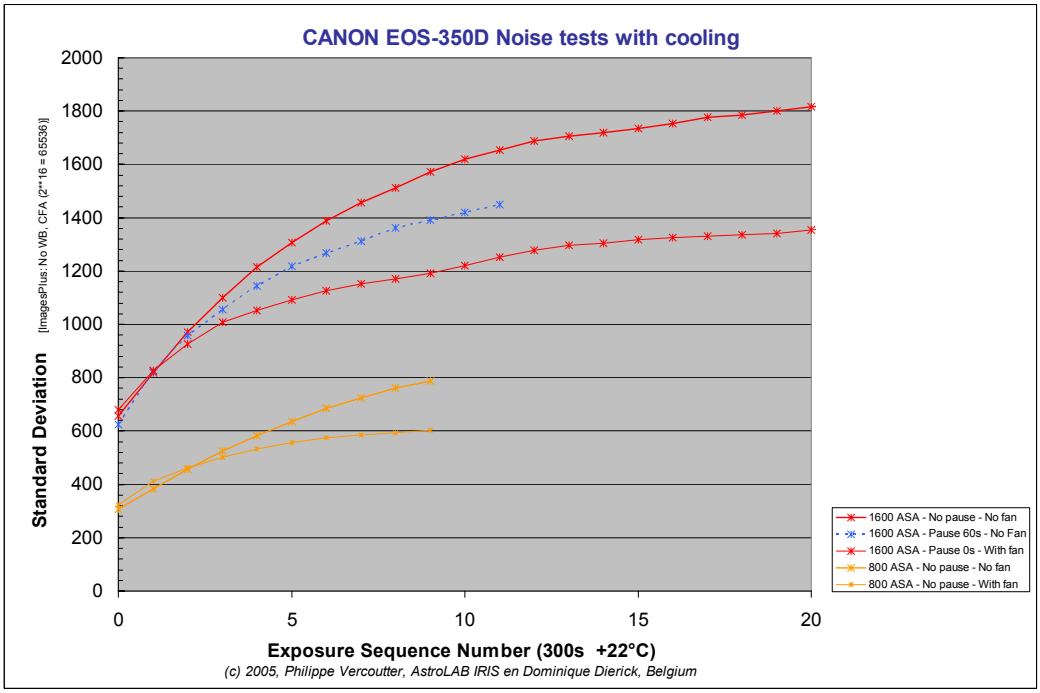
Fotograaf :	Philippe Vercoutter [e-mail] [website]
Bestandsinfo :	JPG, 2.351 KB
Instrument :	Astro-Physics 155 EDFS
Instrument type :	Apochromaat
Diameter :	155.0 mm
Effectieve f ratio :	f / 7.0
Detector :	CANON EOS-1D Mark II
Belichting :	40x90s @ 1600 ASA + 40x180s @ 800 ASA
Locatie :	Ieper, Belgium
Datum :	2005-10-11
Opmerking :	Guiding was done with an SBIG STV on a 105 f/6.2 TMB. Processing done by Philippe Vercoutter and Dominiek Dierick (aka Dodi). Darks were applied, no flats.
Copyright :	(c) 2005 by Philippe VERCOUTTER
Online sinds :	2005-10-13 22:50:34.0 LT

3.3. CANON EOS-350D

3.3.1. Ruiscurves: 5 min 3/22°C



3.3.2. Ruiscurves met fan: 5 min 3/22°C



3.3.3. Doorlaatcurve IR Cut-Off filter

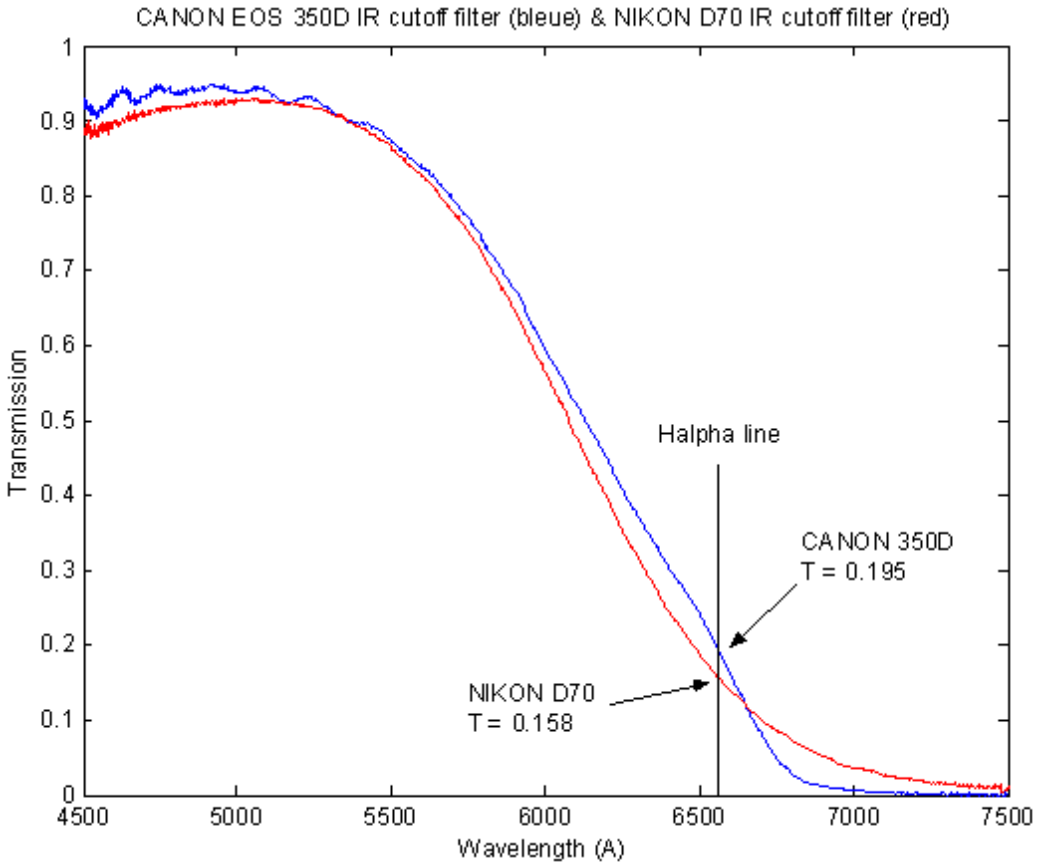


Figure 50 Doorlaatcurve van een standaard CANON EOS-350D en Nikon D70 camera.

© Christian Buil, France (http://www.astrosurf.org/buil/350d/350d.htm).

3.3.4. Voorbeeldopname

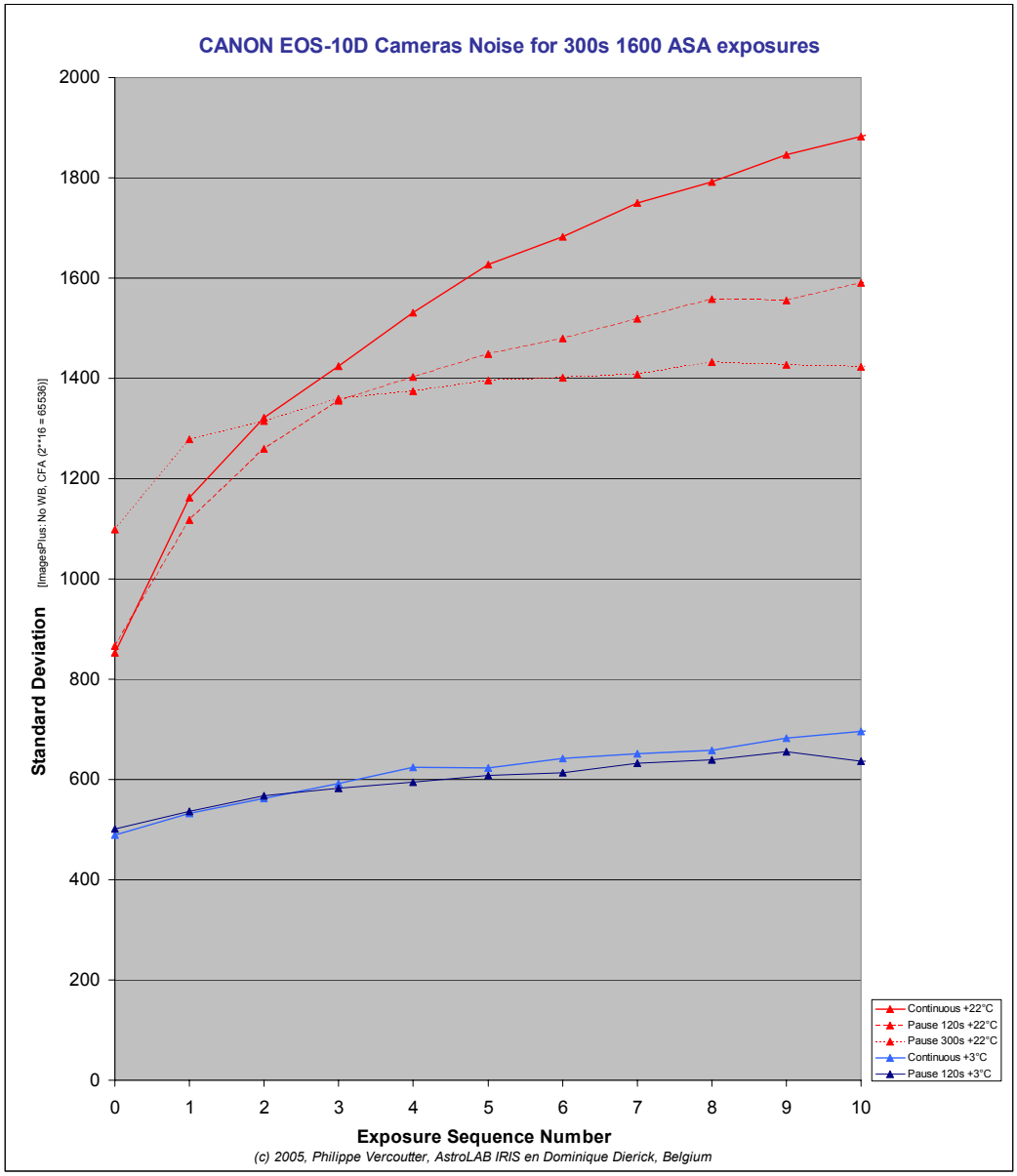
In de Astronomische Beeldendatabank ASTRID kan de lezer een aantal astrofoto's vinden die zijn gemaakt met een CANON EOS-350D. Ziehier de rechtstreekse link naar deze foto's: http://cohesion.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=350D&search_level=1 .



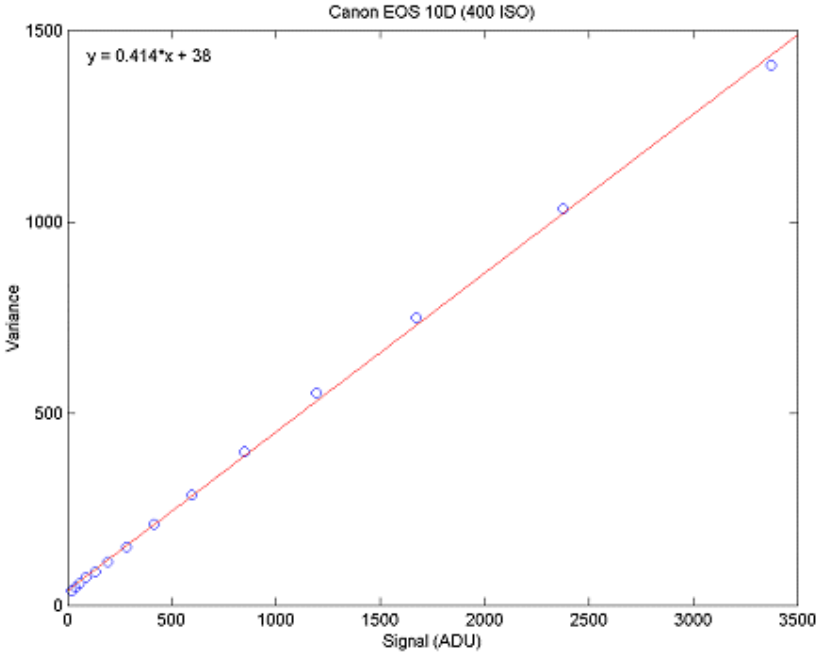
Fotograaf :	Dominique Dierick [e-mail] [website]
Bestandsinfo :	JPG, 1.868 KB
Detector :	Hutech CANON EOS-350D
Belichting :	27 x 300s @ 1600 ASA
Locatie :	Talma, Grandpre, France
Datum :	2005-10-30
Opmerking :	Between each frame, a pause of 30 s was taken. 3M Cold pack was applied to the back of the camera. Dithering was also applied. Sigma clipped median and light DDP was applied. No software noise reduction done.
Copyright :	(c) 2005 by Dominique DIERICK
Online sinds :	2005-11-04 18:12:21.0 LT

3.4. CANON EOS-10D

3.4.1. Ruiscurves: 5 min 3/22°C 1600 ASA



3.4.2. Photon Transfer Curve - Versterkingscurve



© Christian Buil, France (http://www.astrosurf.org/buil/20d/20dvs10d.htm).

3.4.3. Voorbeeldopname

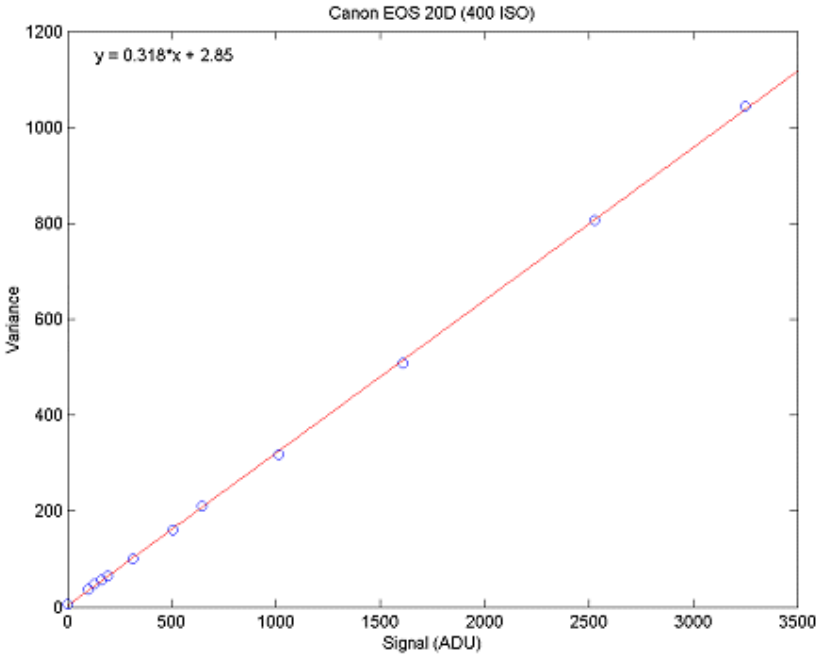
In de Astronomische Beeldendatabank ASTRID kan de lezer een aantal astrofoto's vinden die zijn gemaakt met een CANON EOS-10D. Ziehier de rechtstreekse link naar deze foto's: http://cohesion.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=10D&search_level=1 .



Fotograaf :	Sebastien Kersten [e-mail] [website]
Bestandsinfo :	JPG, 317 KB
Instrument :	FSQ106 (F/D=5)
Instrument type :	Apochromaat
Diameter :	106.0 mm
Effectieve f ratio :	f / 5.0
Filters :	Astrodon H-alpha, R, G, B
Detector :	CANON EOS-10D
Belichting :	M45 = 5 x 3 min - Machholz = 1 x 4 min
Locatie :	Vosges, France
Datum :	2005-01-07
Opmerking :	Mosaic of 2 images.
Copyright :	(c) 2005 by Sebastien KERSTEN
Online sinds :	2005-11-05 09:17:15.0 LT

3.5. CANON EOS-20D

3.5.1. Photon Transfer Curve - Versterkingscurve



© Christian Buil, France (http://www.astrosurf.org/buil/20d/20dvs10d.htm).

3.5.2. Voorbeeldopname

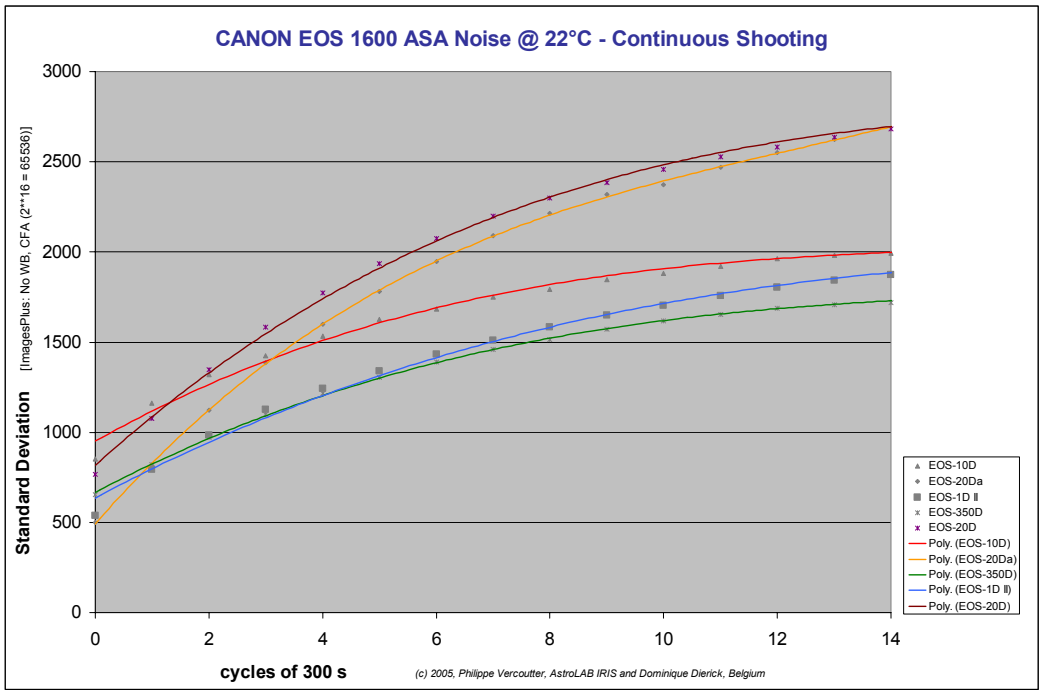
In de Astronomische Beeldendatabank ASTRID kan de lezer een aantal astrofoto's vinden die zijn gemaakt met een CANON EOS-20D. Ziehier de rechtstreekse link naar deze foto's: http://cohesion.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=20D&search_level=1 .



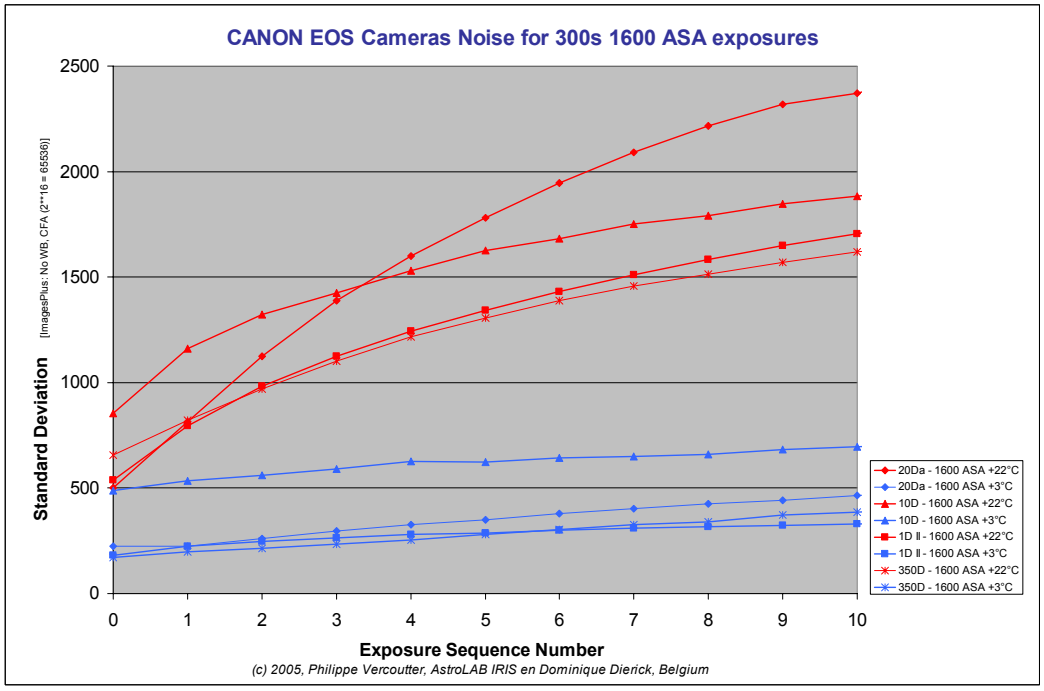
Fotograaf :	Christophe Behaegel [e-mail] [website]
Bestandsinfo :	JPG, 1.298 KB
Instrument :	CANON EF 200 f/2.8
Instrument type :	Lens
Effectieve f ratio :	f / 3.5
Detector :	Hutech CANON EOS-20D
Belichting :	55 m @ 1600 ASA
Locatie :	Talma, Grandpre, France
Datum :	2005-10-31
Copyright :	(c) 2005 by Christophe BEHAEGEL
Online sinds :	2005-11-03 13:59:57.0 LT

3.6. CANON EOS Vergelijkingstesten

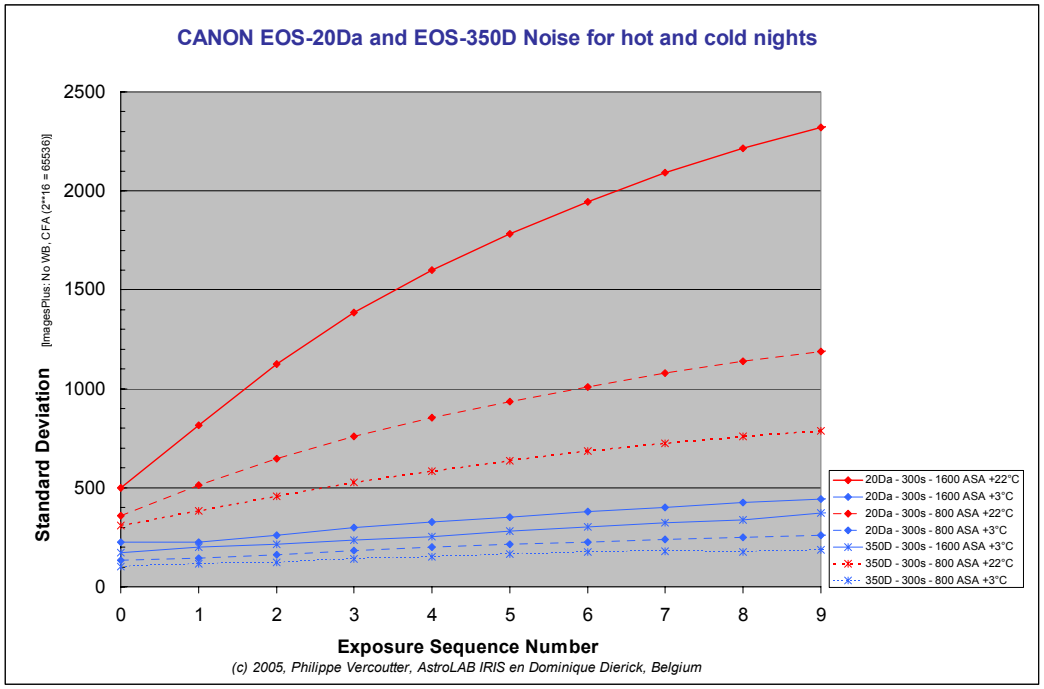
3.6.1. Ruiscurves: 5 min 22°C 1600 ASA



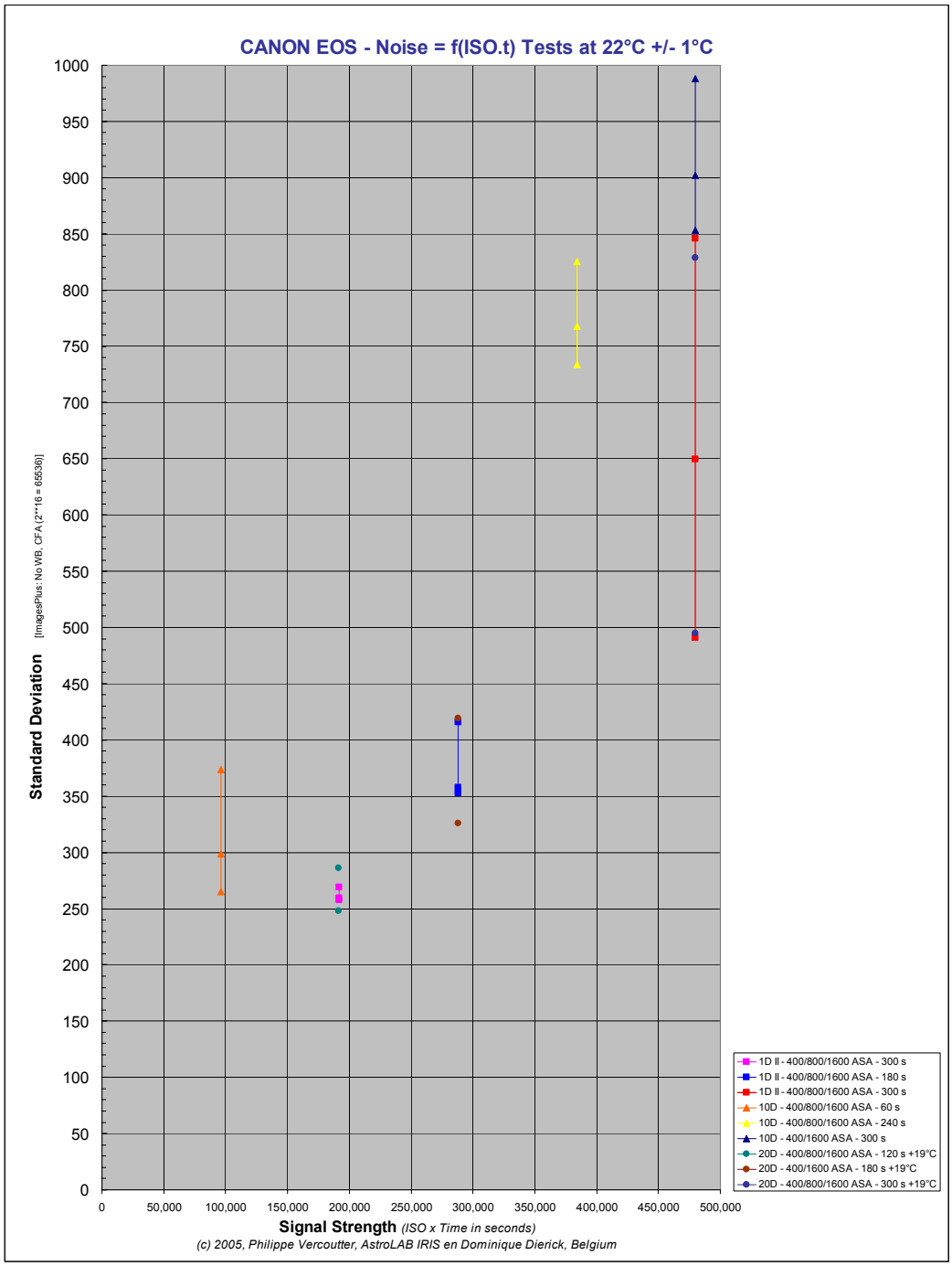
3.6.2. Ruiscurves: 5 min 3/22°C 1600 ASA



3.6.3. Ruiscurves 350D/20Da: 5 min 3/22°C 800/1600 ASA



3.6.4. SNR Curves 10D, 20D, 1DII



3.6.5. EOS versus andere digitale camera's & CCD's

Merk en Type	Pixel grootte (micron)	Chip grootte (mm)	Pixels	Capa-citeit (e^-)	Read Noise 400 ASA (e^-)	Versterking 400 ASA (e^-/ADU)	Dark Current (e-/pixel/s)
CANON EOS-300D	7.4	22.7 x 15.1	3.072 x 2.048	45.500	10	2.78	0.25 (400 ASA 0°C) [30]
CANON EOS-350D	6.4	22.2 x 14.8	3.456 x 2.304				
CANON EOS-10D	7.4	22.7 x 15.1	3.072 x 2.048	44.200	14.9	2.41	
CANON EOS-20D	6.4	22.5 x 15.0	3.504 x 2.336	50.300	7.5	3.14	0.25 (1600 ASA 20°C) [31]
CANON EOS-20Da	6.4	22.5 x 15.0	3.504 x 2.336	50.000	6.83	3.08	
CANON EOS-1D II	8.2	28.7 x 19.1	3.504 x 2.336	52.300	8.9	3.3	0.3 (800 ASA 22°C) [32]
CANON EOS-5D	8.2	35.8 x 23.9	4.368 x 2.912				
Nikon D70	7.9	23.7 x 15.6	3.008 x 2.000	42.100	19	2.98	
Nikon D2Hs	9.4	23.1 x 15.1	2.464 x 1.632				
Nikon D2X	5.49	23.7 x 15.7	4.288 x 2.848				
Olympus E300	5.3	17.3 x 13.0	3.264 x 2.448				
Pentax *ist Ds	7.8	23.5 x 15.7	3.008 x 2.008				

Table 6 Overzicht van een aantal populaire digitale camera's.

De data van de pixelgrootte, chipgrootte en aantal pixels zijn afkomstig van de fabrikanten. De capaciteit, uitgedrukt in electronen per pixel (full well depth is de exacte term), uitleesruis en versterkingsfactoren van een aantal cameratypes werden experimenteel bepaald door Tam Kam-Fai, Terry Lovejoy, C. Cavadore[33], Roger N. Clark[34] en Philippe Vercoutter. Hoe groter de capaciteit en lager het ruisniveau, hoe groter het dynamisch bereik van de digitale camera. Van de geciteerde camera's scoort de CANON EOS-1D II het best hierin.

Merk en Type	Pixelgrootte (in micron)	Chip (in mm)	Pixels	Capaciteit (electronen)	Read Noise (electronen)	Dark Current (e-/pixel/s)
SBIG ST-10XME	6.8	14.9 x 10.0	2.184 x 1.472	77.000	8.8	0.5 (0°C)
SBIG STL-11000M/CM	9.0	36.0 x 24.7	4.008 x 2.672	50.000	13	0.5 (0°C)
Starlight Express SXV-H9	6.45	8.9 x 6.7	1.392 x 1.040	27.000	12	0.02
Starlight Express SXV-M25	7.8	23.4 x 15.6	3.024 x 2.016	25.000	< 12	0.02 (10°C)

Table 7 Ter vergelijking: een overzicht van een aantal populaire 16-bit CCD camera's.[35]

4. CANON EOS Deep-Sky Checklist

Version 0.8β

© 2005, Philippe Vercoutter, AstroLAB IRIS, Belgium (www.astrolab.be) & Dominique Dierick, Belgium

Print a fresh checklist each time that you are going to take deep-sky photos with your CANON EOS. Mark the check box only when the action has been carried out, otherwise you may be sure you will loose one day or another the ability to create beautiful sky images based on the images for that particular shooting session. Notice however that not all steps may be nessesary for your *particular* configuration.

Clear Skies,
Philippe & Dodi

Action	Checked ? ☒ ☑
Long before (days or weeks)	
Camera Check	
Check that you have a second generation EOS camera *Examples: 350D, 20D, 20Da, 1D II*	☐
Check that you use the latest firmware version *Check the CANON website: http://web.canon.jp/Imaging/BeBit-e.html*	☐
Check that you have support for a broader spectrum *Use a EOS-20Da or modified Hutech for better H-alpha support*	☐
Check that you have either 2 battery packs or a permanent current adapter	☐
Check that you have a remote controller	☐
If you want to time via the PC, check that you have the appropriate cable & software	☐
PC Check	
Install and check planetarium software on your PC *To allow interactive Go To functionality of your mount. Examples: The Sky*	☐
Install and check EOS capture software on your PC *Examples: ImagesPlus, EOS Viewer, Maxim/DL with DSLR plugin*	☐
Install and check guiding CCD capture software on your PC *Examples: MaximDL, CCDOps*	☐
Check that you have enough serial/usb/parallel ports on your PC to get everything working *at the same time* (cable and port management) *If necessary create additional ports via USB-Serial convertors for instance*	☐
Check that you have means to store all images that you are going to take *Either online or offline storage (Compact Flash, CD-ROM, DVD, external hard disks, etc.)*	☐
Optics & Mechanics	
Check that you have a good telescope or lens *Make test shots before you leave for an astrophotography trip. It is possible that you will need a field flattener to get crisp stars in the corners of your image. Most of the lenses on the market cannot be used as small telescopes; you'll need either rather expensive lenses or work at larger f-values.*	☐
Check that you have a guiding telescope *If possible with a focal length that is larger than the main scope so that the guiding can occur in an accurate way*	☐
Check that the guiding telescope is well fixated on the mount *To avoid all flexure problems; use good accessories (such as Losmandy parts www.losmandy.com)*	☐
Check that the guiding telescope can be put 100% parallel to the main telescope *If you can not align your guide telescope, field rotation will occur. Use guide scope rings.*	☐
Check that you have the necessary adapters to put you EOS on your telescope *Unless you use your CANON EF lenses, you'll need T-adapter and possibly also a 2" nosepiece.* *See for example: www.baader-planetarium.de/download/dslrt_ring.pdf*	☐
Check that you have an appropriate field flattener for the field of view that goes with the telescope and EOS camera that is used *Check the corner sharpness of some test shots; do you have the appropriate spacers and/or adapters ?*	☐
Check that you have a very good focuser *The best focusers have a large compression ring, internal brake system and coarse/fine focus knobs (e.g. the Starlight Feather Touch focuser, see www.starlightinstruments.com).*	☐
Check that you have a ortho eye-piece *For the execution of the star drift method to align to the polar axis towards the celestial pole.*	☐
Check that you have a good working battery for your ortho eye-piece	☐
Accessories	
Check how you will mount a fan at the back of your EOS	☐
Check the functioning of your fan	☐

Does it rotate, does it not vibrate too much, does it rotate not too slow, etc.	
Check the functioning of your 12V current regulator *Check that you can connect ALL instruments at the same time and that the regulator can deliver all the current that is necessary to let run the fan, kendrick dew removers, mount, (guiding) CCD, other…*	☐
Check that you have a spare fuse for the 12V current regulator	☐
Check that you have a dew remover for your telescope or lens(es) *This is to avoid the formation of dew in the early morning hours. See f.i. www.kendrickastro.com .*	☐ Main ☐ Guide ☐ Supply
Check that you have some cold packs available *You will need more than one so that you can replace one with another one when the first one is warm again*	☐
Check that you have a thermometer. *A thermometer can become useful for the registration of the ambient temperature during a photo shooting session. A digital thermometer is best.*	☐

Some time before (hours)	
Try to get the necessary rest ☺	☐
Coldpacks in the deep-freezer	☐
Pre-cool your camera in the fridge (not in the deep-freezer !)	☐
Check that your PC has enough disk space	☐
Check that your Compact Flash cards have enough space	☐
Check that your EOS camera has a clean detector *Take a few testshots of a bright part of the sky and check for dust; if necessary clean the detector*	☐
Check that the mount is well oriented to the sky pole *Take some testshots of for instance 2 minutes. The stars should remain points, not trails. A nice introduction to the star drift method can be found at www.andysshotglass.com/DriftAlignment.html . Consult the AstroLAB IRIS database: http://astrid.astrolab.be/jsp/zoek.jsp?arg=drift+alignment . We love also the explanation given at http://members.aol.com/ccdastro/drift-align.htm .*	☐

Take a star	*Star moving…*	*Polar axis is…*
Near the meridian	*To the south*	*Too East*
	To the north	*Too West*
In the West	*To the south*	*Too High*
	To the north	*Too Low*

Last checks just before a new astro shooting session is started	
Viewer taped or internal diafragma activated ? *Otherwise light will enter via the viewfinder*	☐
Internal processing desactivated ? *Sharpening, tints, contrast, …; only necessary for JPGs*	☐
RAW mode selected ? *This is done because RAWs have more dynamic range and can be processed better.*	☐
Mirror lock-up activated ? *This is to avoid vibrations that can cause bright stars smeared out a bit. You can set this via the so-called Custom Functions (CF 12 to be precise).*	☐
Internal Noise reduction desactivated ? *We do this because we will use our own dark frames and autoscaling technique.*	☐
Image preview on LCD screen is disabled ? *We do this to avoid the generation of extra heat caused by the LCD panel.*	☐
Image stabliser is disabled ? *Image stablisation is only good for dynamic environments; we are in a static environment. Image resolution is better when the image stabiliser is swithed off.*	☐
Autofocusing swithed off ? *To avoid all problems during a long photo session, we do the focusing by ourselves. If you do not do this and autofocusing is on, it might well be that suddenly the system tries to refocus.*	☐
Automatic turn-off of the camera swithed off ? *To avoid all problems during a long photo session, we do not want the camera to be shut down automatically when it is not used for a given amount of time. We want to have a connection with our PC at all times.*	☐

Calibration	
At least 5 bias-frames available for 800 ASA? for 1600 ASA ? other ? *Bias frames are taken to allow for a proper darkframe autoscaling procedure. A bias frame is taken by putting a cap on your EOS, cover the eyeviewer and exposing for the minimum duration of the camera (1/4000 or 1/8000 s). You should make bias frames for all the ISO values you are going to use.*	☐ 800 ASA ☐ 1600 ASA

Checks for a new shooting location – test shots	
Select 800 or 1600 ASA *Try to use as much 800 ASA as possible for its dynamic range. It requires rather bright objects. For faint objects and a better SNR, use 1600 ASA. If the ambient temperature is rather high (> 15°C for example), you will have to cool the camera or use interval photography, especially when using 1600 ASA.*	☐
Select an exposure time so that the photo gets not oversaturated *Check the test photo's histogram using an image treatment program such as ImagesPlus, Photoshop, etc. .*	☐
Take already 5 darkframes for the ISO and exposure time selected *To avoid that when everything goes wrong later, you have at least some darks. This is more like a security measure.*	☐

Last checks just before taking a shot	
Camera & lens checks	
Check the orientation of the camera at the sky	☐
Fixate the screws that hold the camera in place on the telescope tubus	☐
Adjust for sharp focus *Take a photo for a given position, change that position, take another photo and compare at 100% image size the sharpness with the previous photo; change the camera position accordingly. You can also use special software to help you focusing in a quantitative and accurate way (e.g. www.dslrfocus.com).*	☐
Fixate the focus screw	☐
Choose the appropriate diafragm	☐
Temperature control	
Activate your fan	☐
Take your coldpack from the fridge and install it on the back of your camera *Put the cold pack in a linnen bag so that it nevers touch the back of the camera directly. It has also as an advantage that when it melts, the water is sucked by the linnen bag.*	☐
Guiding telescope	
Look for a guiding star in your guiding telescope	☐
Check the sharpness of the guiding CCD	☐
Fixate the focus screw	☐
Calibrate the guiding CCD	☐
Activate tracking and check that it works fine during some cycles	☐
Tracking is stable ?	☐
Dithering is enabled ? *Dithering allow you to get rid of (fixed) pattern noise. Try to maximize the randomisation of the dithering (f.i. take larger circles instead of smaller ones)*	☐
Interval Timer / PC Capturing software	
Activate the PC Capturing software on your PC	☐
Program your interval timer	☐
Check that the minimum interval between 2 shots is at least 10 seconds	☐
Check that the number of pictures to be taken is correct or 0 (= continuous shooting)	☐
During the photoshoot	
Check regularly the sharpness of the images captured	☐
Check regularly the tracking via the guide CCD	☐
Cover the telescope now and then with a cap, so that a dark frame is taken. *Do that now and then so that after a session yo have at least 5 darkframes.*	☐
Check the battery of your EOS camera *When you do not use a permanent current adapter, replace the current battery with a new one*	☐
Check regularly the clearness of the image *Dew may occur on the guiding or main telescope; if necessary stop the shooting session and install a dew remover*	☐
Change the coldpack regularly *When this should occur will be dependant of the ambient temperature. Once every hour is a good rule of thumb.* *When you change the coldpack can also be a good moment to take the darkframe.*	☐
Note the ambient temperature regularly in your logbook	☐
After the photoshoot	
Take flats at 100 ASA *Take flats with about 30% saturation; take at least 5 flats with the EOS in place (do not change your settings).* *We use 100 ASA to avoid as much noise as possible.*	☐
Take darkframes at 100 ASA *Take at least 5 dark frames for the same duration of the flats. These darks can be used to calibrate the flats taken a few moments ago.*	☐

When you have (a lot of) time - Processing	
Treatment of the biasframes	
Convert all the biasframe RAWs into monochrome Bayer CFA's	☐
Combine them using the '*Average*' technique	☐
Treatment of the darkframes	
Convert all the darkframe RAWs into monochrome Bayer CFA's	☐
Combine them using the '*Average*' technique	☐
Treatment of the flats	
Convert all the flat RAWs into monochrome Bayer CFA's	☐
Combine them using the '*Average*' technique	☐
Treatment of the lights	
Convert all the RAWs into monochrome Bayer CFA's	☐
Get rid of all the hot pixels	☐
Set the calibration settings: flats & darks using '*Auto Scaling*'	☐
Calibrate these monochrome Bayers	☐
Convert all these files into Color frames (debayering)	☐
Align these color frames	☐
Combine the aligned frames using 'Adaptive Add'	☐
Treatment of the combined picture	
Open the histogram window so that you see what happens in the next steps *This is to avoid clipping in the first place*	☐
Use Digital Development Processing (DDP) *Start with the 'Auto' option in ImagesPlus; set the background weight to something like 0.8 (not 1 because then clipping will occur)*	☐
Use curves to further enhance the histogram of the image	☐
Use other features of whatever image treatment programs to finish the photo. ☺	

Checklist for a finished astro-photo	
The histogram is not (too much) clipped *If possible: not clipped at all.*	☐
The sky background is black *Check with the Info Viewer of Photoshop f.i. that the RGB values of a typical background pixel is close to 0,0,0.* *Of course, normally they will be different of these theoretical values, so keep them at leastas equal to each other as possible (f.i. 30,33,30). It is possible that you will need to use a Colour Balancing tool.*	☐
The image had a good contrast *Photos that are well processed use a broad range of intensity values. Some people lower the contrast of their picture to diminish picture imperfections. Try to avoid this technique. A photo should have a good contrast.*	☐
The stars are not too blown up *If they are, use a minimum filter on the stars that you can select via the Colour select tool.*	☐
The stars do not have a black circle around them *It is just like that the stars are disconnected from the rest of the scene. This is due to a too strong unsharp mask that has been applied. Try to use a smaller radius when applying Unsharp Masking.*	☐
The stars do not show trails *This is due to a badly managed mount or a bad guiding procedure. If the stars are not pinpoint and show only a very small elongation, this can be corrected.*	☐
The picture does not show too much sky background gradients *Gradients are caused by licht halo's around towns. They are difficult to remove. There exists some procedures to get rid of them. Usage of a special plug-in in Photoshop or the usage of a false flat are only two possibilities to get rid of these gradients.*	☐
The picture does not show too much noise *If there is really too much noise, try to use a noise removal tool (Neatimage, Noise Ninja, Photoshop, etc.). Use such a tool with moderation. Using a noise removal tool almost always result in a loss of some of the information in the image. The best astrophotos does not need (much) noise removal. Remember that at the other hand there must always be some kind of noise in a picture.*	☐
One has checked that the image cannot be sharpened/blurred more *When everything has been done, you can always check whether a final sharpening could be done or not. Do not exaggerate. It is also possible that a final blurring is necessary to get rid of very small imperfections in an image. The radius for such small blurring is in the order of magnitude of 0.1 or 0.2 pixels.*	☐
The image has been cropped in a good way. *Photos that show too much vignetting, uneven black or unevenly exposed canvasses because of rotation or translation caused by the combination process of the individual frames, or show strong optical aberrations (f.i. completely elongated star images, coma or colour errors), etc. and that can not be fixed using other processing techniques, should be cropped accordingly. Don't show these errors to the viewer: less is more!*	☐

■

[1] Te bereiken via philippe.vercoutter@ap2.be .
[2] Bereikbaar via digidodi@yahoo.com .
[3] Bereikbaar via digidodi@yahoo.com .
[4] Zie "*Handleiding Astrofotografie"* op http://users.skynet.be/tranquillity/index2.htm .
[5] Zie http://www.astrolab.be/html/educatief_nl_frames.html , tabblad '*Astrofotografie*'.
[6] Zie tweedelig artikel over "*Hoge(re) zonneresolutiefotografie"* van Philippe Vercoutter eerder dit jaar in *Heelal* verschenen.
[7] Om planeten te fotograferen zijn webcams veel meer geschikt dan digitale camera's of CCD's.
[8] Zie http://www.bobatkins.com/photography/digital/digital_rebel_firmware_hack.html .
[9] Bezoek even de interessante CANON EOS technologie webstek op http://web.canon.jp/Imaging/cmos/technology-e/ .
[10] Zie http://www.cyanogen.com/ .
[11] Zie http://www.mlunsold.com/ .
[12] Zie http://www.dslrfocus.com/ .
[13] Zie de website van Christian Buil op http://www.astrosurf.org/buil/us/iris/iris.htm .
[14] Zie http://web.canon.jp/Imaging/cmos/technology-e/noise_reduction.html .
[15] Zie het artikel van Roger N. Clark op http://clarkvision.com/imagedetail/digital.signal.to.noise/ .
[16] Zie CANON Europe webstek (http://www.canon-europe.com/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/eos20Da/).
[17] Volg de links die je terugvindt op http://www.pbase.com/terrylovejoy/iraamod als je de instructies wil vinden over hoe je zo'n digitale camera kunt aanpassen (op eigen risico !).
[18] Zie bijvoorbeeld de firma *Hutech* in de Verenigde Staten (http://www.sciencecenter.net/hutech/).
[19] Zie het artikel op http://www.physorg.com/news800.html .
[20] Zie het artikel op http://web.canon.jp/Imaging/cmos/technology-e/noise_reduction.html .
[21] Zie hoe Jerry Lovejoy dit doet op http://www.pbase.com/terrylovejoy/peltier_cooling .
[22] Zie http://www.astrodon.com/oldsite/Reflections.html .
[23] Zie de posting van Terry Lovejoy op http://www.postfinder.com/post/24269371.html .
[24] Zie de webstek van C. Cavadore op http://www.astrosurf.com/cavadore/APN/carac/EOS20D/index.html .
[25] Zie op de 1D II website van Terry Lovejoy http://www.pbase.com/terrylovejoy/canon_1d_mk2 .
[26] Zie de webstek van C. Cavadore op http://www.astrosurf.com/cavadore/APN/carac/EOS20D/index.html .
[27] Zie het artikel van Roger N. Clark op http://clarkvision.com/imagedetail/digital.signal.to.noise/ and Terry Lovejoy op http://www.pbase.com/terrylovejoy/hold .
[28] Zie voor een uitgebreider overzicht http://www.licha.de/astro_article_ccd_sortable_compare.php .
[29] Zie http://www.pbase.com/terrylovejoy/peltier_cooling .
[30] Zie de posting van Terry Lovejoy op http://www.postfinder.com/post/24269371.html .
[31] Zie de webstek van C. Cavadore op http://www.astrosurf.com/cavadore/APN/carac/EOS20D/index.html .
[32] Zie op de 1D II website van Terry Lovejoy http://www.pbase.com/terrylovejoy/canon_1d_mk2 .
[33] Zie de webstek van C. Cavadore op http://www.astrosurf.com/cavadore/APN/carac/EOS20D/index.html .
[34] Zie het artikel van Roger N. Clark op http://clarkvision.com/imagedetail/digital.signal.to.noise/ and Terry Lovejoy op http://www.pbase.com/terrylovejoy/hold .
[35] Zie voor een uitgebreider overzicht http://www.licha.de/astro_article_ccd_sortable_compare.php .